FRAGILIDADE AMBIENTAL AOS PROCESSOS EROSIVOS LINEARES NO PONTAL DO PARANAPANEMA

Isabel Cristina Moroz-Caccia Gouveia[1]
José Mariano Caccia Gouveia [2]
João Paulo de Oliveira Pimenta[3]

Resumo

A presente pesquisa objetivou a elaboração de um mapa de fragilidade ambiental para a região do Pontal do Paranapanema, na porção oeste do estado de São Paulo.

O estudo, conduzido a partir de metodologia proposta por Ross (1990, 1992, 1994, 2006) para a análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados, consistiu na correlação cartográfica, através de Sistema de Informação Geográfica (SIG), dos pontos de erosão mapeados por IPT- Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (2012) e de mapas temáticos (geomorfologia, pedologia, atributos climáticos e uso e ocupação da terra).

Comumente, em ambientes SIGs, os mapas de fragilidade ambiental resultam da análise multicriterial utilizando-se, por exemplo, o método AHP (Analytic Hierarchy Process). Esse método baseia-se em quatro etapas: a) seleção das variáveis ambientais responsáveis pelo desencadeamento ou aceleração de determinado processo; b) atribuição de pesos para cada variável para quantificar a importância relativa de cada uma c) a normalização, ou seja, transformam-se os dados de cada variável num espaço de referência (por exemplo, valores entre 1 e 5) e; d) agregação dos valores para obter a síntese, que nesse caso, refere-se à fragilidade ambiental.

Nesta pesquisa, as variáveis ambientais selecionadas foram o relevo (características morfológicas e morfométricas - padrões de formas do relevo e índice de dissecação), solos (características texturais, estruturais e grau de coesão das partículas), clima (distribuição, intensidade, volume e duração das chuvas) e uso e cobertura da terra (graus de proteção que oferecem aos solos).

Geralmente, a escolha das variáveis bem como a determinação da importância relativa de cada uma delas é feita com base na literatura, ou consultando e examinando as opiniões de peritos (Câmara et al., 2001). Entretanto, como dispomos de dados sobre a ocorrência e localização de processos erosivos na área de estudos, optou-se pela determinação da importância relativa de cada variável, a partir das correlações entre as variáveis e os pontos de erosão mapeados por IPT (2012). Desta forma, a pesquisa serviu para validar as matrizes propostas por Ross (1994) para a determinação da fragilidade ambiental.

Observou-se uma maior correlação espacial dos focos erosivos com as variáveis relevo e solos, e menor correlação com as variáveis climáticas e de uso e cobertura da terra. Desse modo, foram atribuídas percentagens de importância relativa de 40% para a variável solos e 30% para as variáveis relevo e uso e cobertura da terra. A variável clima foi desconsiderada pois não apresentou correlação espacial com os processos

[1] Professora Assistente Doutora – Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente ic.moroz@uol.com.br

[2] Professor Assistente Doutor – Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente caccia@uol.com.br

[3] Graduando em Geografia - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente joaopaulo.pimenta@hotmail.com

erosivos. Em seguida, foram atribuídos valores de fragilidade, variando de 1 a 5, correspondendo a níveis de fragilidade de Muito Fraco, Fraco, Médio, Forte e Muito Forte, para cada as classes ou categorias de cada variável. Assim, os procedimentos permitiram a ponderação sistemática de cada variável analisada e a consideração quanto a sua influência em relação ao conjunto das variáveis, permitindo a elaboração de uma matriz para a análise integrada, utilizada para a geração do mapa de fragilidade ambiental.

Palavras-chaves: Fragilidade ambiental – Processos erosivos –Pontal do Paranapanema

Introdução

As intervenções antrópicas promovem intensas transformações nos sistemas ambientais, alterando taxas e balanços de processos e, em muitos casos, gerando situações de desequilíbrios e comprometendo as funcionalidades dos meios físicos e bióticos e, por fim, afetando a própria sociedade e seus sistemas socioeconômicos.

O entendimento das características e dinâmicas ambientais é imprescindível para quaisquer atividades que impliquem na exploração e apropriação de elementos físicos ou bióticos. Tal conhecimento, que pressupõe análises integradas, pode promover uma exploração dos recursos mais compatível tanto com as potencialidades quanto com as fragilidades dos ambientes, evitando dessa forma, respostas indesejáveis tanto do ponto de vista ambiental quanto econômico.

Nesse sentido, Ross (1994) afirma que o planejamento econômico e ambiental deve basear-se nessa premissa e através do ordenamento territorial, direcionar as intervenções humanas de forma a garantir a funcionalidade dos sistemas ambientais.

Em consonância, no Brasil, o principal instrumento da Política Nacional do Meio Ambiente é o Zoneamento Ecológico-Econômico do Brasil – ZEE. O Decreto 4.297/02, em seu artigo 2º estabelece que o ZEE, enquanto instrumento de organização do território, deve ser obrigatoriamente seguido na implantação de planos, obras e atividades públicas e privadas, a fim de a "assegurar a qualidade ambiental, dos recursos hídricos e do solo e a conservação da biodiversidade, garantindo o desenvolvimento sustentável e a melhoria das condições de vida da população".

Ainda, em seu artigo 3º, o decreto 4.297/02, afirma que o ZEE,

> na distribuição espacial das atividades econômicas, levará em conta a importância ecológica, as limitações e as fragilidades dos ecossistemas, estabelecendo vedações, restrições e alternativas de exploração do território e determinando, quando for o caso, inclusive a relocalização de atividades incompatíveis com suas diretrizes gerais.

Além disso, em seu artigo 13º, estabelece que os diagnósticos ambientais necessários para a elaboração do ordenamento territorial deverão contemplar, no mínimo, produtos analíticos de síntese tais como I - Unidades dos Sistemas Ambientais, definidas a partir da integração entre os componentes da natureza; II - Potencialidade Natural, definida pelos serviços ambientais dos ecossistemas e pelos recursos naturais disponíveis; e, III - Fragilidade Natural Potencial, definida por indicadores de perda da biodiversidade, vulnerabilidade natural à perda de solo, quantidade e qualidade dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos.

Diante do exposto, fica evidente a importância da elaboração de produtos cartográficos de síntese resultantes de estudos ambientais integrados, tais como

mapas de fragilidade ambiental, para o ordenamento territorial com objetivos de direcionar e compatibilizar os usos com as potencialidades e fragilidades identificadas.

Os estudos integrados e a Fragilidade Ambiental

Santos (2005) aponta que a partir da segunda metade do século XX, surgiram diversas concepções teórico-metodológicas para os estudos integrados, buscando entender "as relações de interdependência entre os aspectos físico-ambientais e as atividades antropogênicas por meio de avaliações multitemáticas" (p. 77).

No que se refere à utilização da cartografia como instrumento de análise e síntese nos estudos ambientais integrados, destacam-se as contribuições de Bertrand (1968) Sotchava (1977), Tricart (1977), Tricart e Kilian (1979), Ross (1992, 1994, 2006) e Crepani et al (2001).

Esses dois últimos autores, basearam-se no conceito de Unidades Ecodinâmicas, formulado por Tricart (1977). Esse conceito, com bases na Teoria Geral dos Sistemas, considera que na natureza as trocas de energia e matéria se processam por meio das relações de equilíbrio dinâmico. Esse equilíbrio, entretanto, pode ser alterado pelas intervenções do homem nos diversos componentes da natureza, gerando estado de desequilíbrios temporários ou até permanentes. Desse modo, Tricart (op. cit.) definiu que os ambientes, quando estão em equilíbrio dinâmico podem ser considerados como Unidades Ecodinâmicas Estáveis ao passo que e, quando em desequilíbrio, podem ser considerados como Unidades Ecodinâmicas Fortemente Instáveis. Além disso, Tricart (op cit.) ainda admitia a possibilidade de Unidades Ecodinâmicas Intergrades, que corresponderiam a situações de instabilidade temporária, podendo retornar à estabilidade ou evoluir para Unidade Fortemente Instável.

Ross (1990) propõe novos critérios para definir as Unidades Ecodinâmicas Estáveis e Unidades Ecodinâmicas Instáveis:

- Unidades Ecodinâmicas Instáveis ou de Instabilidade Emergente ou <u>Unidades de Fragilidade Emergente</u> - aquelas em que a ação antrópica modificou intensamente os ambientes naturais através dos desmatamentos e práticas de atividades econômicas diversas, com vários graus de instabilização, oscilando entre "Muito baixo" e "Muito alto"; e,
- Unidades Ecodinâmicas de Instabilidade Potencial ou <u>Unidades de Fragilidade Potencial</u> – áreas em equilíbrio dinâmico não afetadas pela ação antrópica, encontrando-se em seu estado natural, com graus de instabilidade também variando entre "Muito baixo" a "Muito alto".

Segundo Ross (1994), a analise empírica da fragilidade ambiental é resultado da análise integrada de características do relevo (gênese, morfologia, morfometria e morfodinâmica), tipos de solo, litologia, cobertura vegetal, uso da terra e pluviometria. "A obtenção desses dados requer levantamentos de campo e serviços de gabinete, a partir dos quais geram-se produtos cartográficos temáticos de geomorfologia, geologia, pedologia, climatologia e uso da terra/vegetação. " (Ross, 1994, p.66).

Produtos cartográficos temáticos e procedimentos para a elaboração do Mapa de Fragilidade Ambiental

O mapeamento geomorfológico, contemplando análises morfológicas e morfométricas, é um produto indispensável à construção do Mapa de Fragilidade. Para estudos de maior detalhe (em escalas de 1:25.000, 1:10.000, 1:5.000 por exemplo), Ross (1994) sugere como base de informações para essa temática, as formas de

vertentes e as classes de declividades. Já para escalas médias e pequenas (1:50.000, 1:100.000, 1:250,000 ou 1:500.000) utiliza-se os Padrões e Formas de Relevo associado aos Índices de Dissecação do Relevo, apresentados no Quadro 1, de acordo com procedimentos definidos por Ross (1990 e 1992) que estabelece a concepção teórica e técnica para a o mapeamento geomorfológico e análise genética, de acordo com uma classificação taxonômica do relevo.

Quadro 1 – Matriz dos Índices de Dissecação do Relevo

DENSIDADE DE DRENAGEM ou DIMENSÃO INTERFLUVIAL MÉDIA (Classes)	**MUITO BAIXA (1)** (> 3750m)	**BAIXA (2)** (1750 a 3750m)	**MÉDIA (3)** (750 a 1750m)	**ALTA (4)** (250 a 750m)	**MUITO ALTA (5)** (< 250m)
GRAUS DE ENTALHAMENTO DOS VALES (Classes)	> 15 mm	5 a 15 mm	5 a 15 mm	1 a 3 mm	1 mm
MUITO FRACO (1) (< 20m)	11	12	13	14	15
FRACO (2) (20 a 40 m)	21	22	23	24	25
MÉDIO (3) (40 a 80 m)	31	32	33	34	35
FORTE (4) (80 a 160 m)	41	42	43	44	45
MUITO FORTE (5) (> 160 m)	51	52	53	54	55

Fonte: Ross (1994)

Para efeito de classificação de acordo com os graus ou níveis de fragilidade, Ross (1994) estabelece as seguintes correspondências (Quadro 2):

Quadro 2 – Índices de Dissecação e Níveis de Fragilidade aos processos erosivos

ÍNDICES DE DISSECAÇÃO DO RELEVO	NÍVEL DE FRAGILIDADE
11	Muito baixo
12,21,22	Baixo
13, 23, 31, 32, 33	Médio
14, 24, 34, 41, 42, 43, 44	Alto
15, 25, 35, 45, 51, 51, 52, 53, 54, 55	Muito alto

Fonte: Ross (1994).

Para a variável solos, considerando as características de textura, estrutura, plasticidade, grau de coesão das partículas e profundidade/espessuras dos horizontes e baseando-se em pesquisas já consagradas tais como Lombardi Neto & Bertoni (1975) e em sua vasta experiência em levantamentos de campo, Ross (1994) atribuiu níveis de fragilidade aos tipos de solos. O Quadro 3 apresenta alguns exemplos, adaptados de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (Embrapa, 2006)

Quadro 3 – Tipos de solos e Níveis de Fragilidade aos processos erosivos

TIPOS DE SOLOS	NÍVEL DE FRAGILIDADE
Latossolo Roxo, Latossolo Vermelho escuro e Vermelho amarelo, textura argilosa	Muito baixo
Latossolo Amarelo e Vermelho amarelo, textura média/argilosa	Baixo
Latossolo Vermelho amarelo, Nitossolos, Aluvissolos, Argissolos Vermelho amarelo	Médio
Neossolos, Cambissolos	Alto
Neossolos com cascalhos, litólicos e Neossolos Quartzarênicos	Muito alto

Fonte: Adaptado de Ross (1994)

Para a variável uso e cobertura da terra, deve-se considerar o grau de proteção que cada tipo de cobertura oferece aos solos, face aos processos erosivos induzidos pela ação das águas pluviais. Desse modo, Ross (1994), também se baseando em pesquisas sobre perdas de solos de acordo com os tipos de culturas (MARQUES et al, 1961; CASSETI, 1983) e em suas pesquisas, propôs os seguintes níveis de proteção para cada tipo de cobertura vegetal (Quadro 4):

Quadro 4 – Grau de proteção dos solos pela cobertura vegetal face à ação das águas pluviais

Tipos de cobertura	Grau de Proteção
Florestas/Matas naturais, florestas cultivadas com biodiversidade	Muito alto
Formações arbustivas naturais com estrato herbáceo denso, formações arbustivas densas (Mata secundária. Cerrado denso, Capoeira densa), Mata homogênea de pinus densa, pastagens cultivadas com baixo pisoteio de gado, cultivos de ciclo longo como cacau.	Alto
Cultivos de ciclo longo com curvas de nível/terraceamento como café, laranja com forrageiras , pastagens com baixo pisoteio, silvicultura de eucaliptos com sub-bosque de nativas	Médio
Culturas de ciclo longo de baixa densidade (café, pimenta do reino, laranja com solo exposto, culturas de ciclo curto (arroz, trigo, feijão, soja, milho, algodão com cultivo em curvas de nível/terraceamento)	Baixo
Áreas desmatadas e queimadas recentemente, solo exposto por arado/gradeação, solo exposto ao longo de caminhos e estradas, terraplangens, culturas de ciclo curto sem práticas conservacionistas.	Muito baixo

Fonte: Ross (1994)

Quanto às informações climatológicas, para a determinação da Fragilidade Ambiental, interessam especialmente aquelas relacionadas às precipitações (distribuição, intensidade, volume e duração das chuvas). Para essa variável, ROSS (inédito) *apud* SPÖRL (2001), propõe os seguintes níveis de fragilidade (Quadro 5):

Quadro 5 - Níveis de Fragilidade face aos Comportamentos Pluviométricos

CARACTERÍSTICAS PLUVIOMÉTRICAS	NÍVEL DE FRAGILIDADE
Situação pluvimétrica com distribuição regular ao longo do ano, com volumes anuais não muito superiores a 1000 mm/ ano.	Muito baixo
Situação pluvimétrica com distribuição regular ao longo do ano, com volumes anuais não muito superiores a 2000 mm/ ano.	Baixo
Situação pluviométrica com distribuição anual desigual, com períodos secos entre 2 e 3 meses no inverno, e no verão com maiores intensidades de dezembro a março.	Médio
Situação pluviométrica com distribuição anual desigual, com período seco entre 3 e 6 meses, alta concentração das chuvas no verão entre novembro e abril, quando ocorrem de 70 a 80% do total das chuvas.	Alto
Situação pluviométrica com distribuição regular ou não, ao longo do ano, com grandes volumes anuais ultrapassando 2500 mm/ano; ou ainda, comportamentos pluviométricos irregulares ao longo do ano, com episódios de alta intensidade e volumes anuais baixos, geralmente abaixo de 900 mm/ano (semi-árido).	Muito alto

Fonte: ROSS (inédito) apud SPÖRL (2001)

A análise multitemática em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas

Na ocasião em que Ross (1994) elaborou sua proposta metodológica, a utilização de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) ainda era bastante incipiente no Brasil. Dessa forma, a correlação entre os mapas temáticos era feita manualmente e de forma bastante trabalhosa, utilizando-se mesas de luz e desenhando sobre papel vegetal.

Atualmente, em ambientes SIGs, os mapas de fragilidade ambiental resultam da análise multicriterial utilizando-se, por exemplo, o método AHP (Analytic Hierarchy Process). Esse método baseia-se em quatro etapas: a) seleção das variáveis ambientais responsáveis pelo desencadeamento ou aceleração de determinado processo; b) atribuição de pesos para cada variável para quantificar a importância relativa de cada uma c) a normalização, ou seja, transformam-se os dados de cada variável num espaço de referência (por exemplo, valores entre 1 e 5) e; d) agregação dos valores para obter a síntese, que nesse caso, refere-se à fragilidade ambiental.

Nota-se que Ross (1994) apresenta em sua proposta metodológica, todas as etapas descritas, exceto a etapa b (atribuição de pesos para cada variável para quantificar a importância relativa de cada uma). Obviamente, essa ausência se justifica pelas limitações do método manual de cruzamento dos mapas temáticos.

Segundo (Câmara et al., 2001), geralmente, a escolha das variáveis bem como a determinação da importância relativa de cada uma delas é feita com base na literatura, ou consultando e examinando as opiniões de peritos.

Embora a questão da escolha das variáveis necessárias à determinação da fragilidade ambiental face aos processos erosivos ou ainda, face aos processos de inundação seja

um problema já superado pela contribuição de Ross (1994), não se pode afirmar o mesmo quanto à determinação da importância relativa de cada variável.

Como saber se em determinado local são as formas de relevo ou os tipos de solos os principais responsáveis pela deflagração de processos erosivos? Ou seriam as formas de usos os deflagradores desses processos? Ou ainda, os elementos climáticos? Ou todas as variáveis participam da mesma forma?

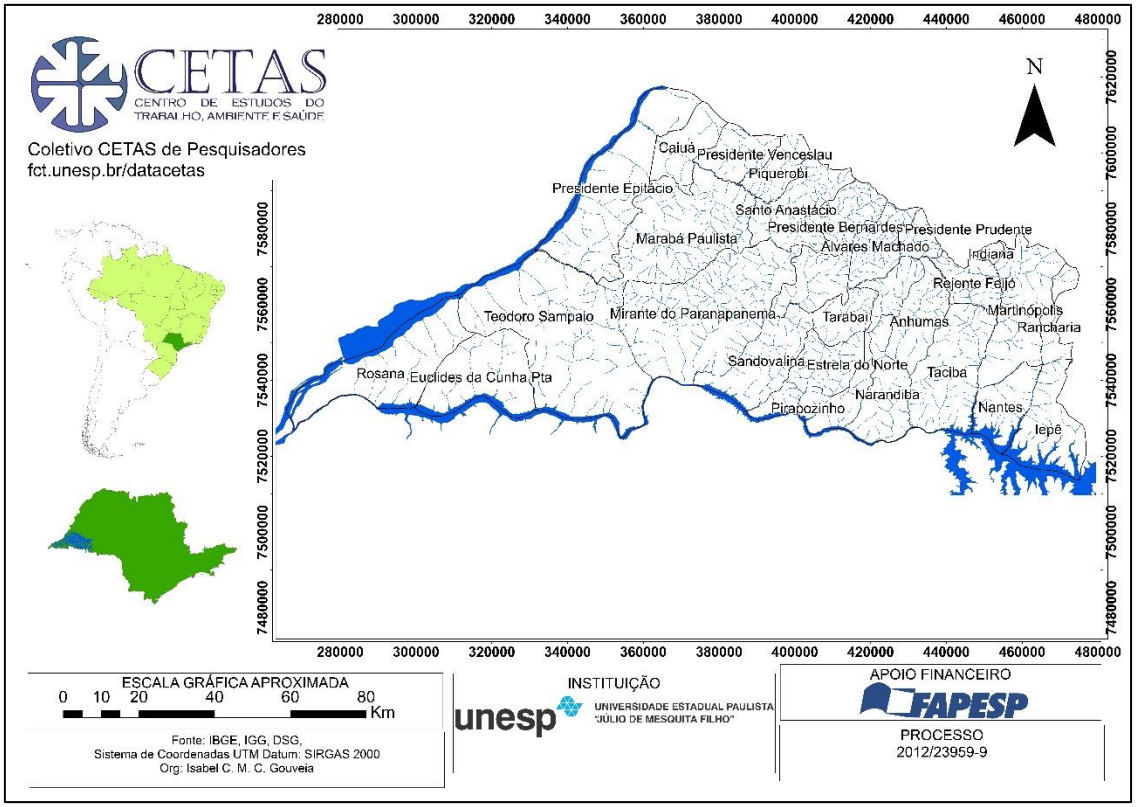
Muitas vezes, o conhecimento do pesquisador é suficiente para identificar a variável de maior importância.

Na presente pesquisa, face à disponibilidade de dados sobre a ocorrência e localização de processos erosivos na área de estudos, optou-se pela determinação da importância relativa de cada variável, a partir das correlações entre as variáveis e os pontos de erosão mapeados por IPT (2012). Desta forma, a pesquisa serviu para validar as matrizes propostas por Ross (1994) para a determinação da fragilidade ambiental.

O Pontal do Paranapanema

A região do Pontal do Paranapanema, no oeste do Estado de São Paulo, corresponde à Unidade de Gerenciamento do Recursos Hídricos Pontal do Paranapanema (UGRHI 22). Abrange uma área de 18.441,60 Km² e é composta por 32 municípios: Caiabú, Indiana, Tarabai, Estrela do Norte, Alfredo Marcondes, Álvares Machado, Anhumas, Caiuá, Emilianópolis, Euclides da Cunha Paulista, Iepê, João Ramalho, Marabá Paulista, Martinópolis, Mirante do Paranapanema, Nantes, Narandiba, Piquerobi, Pirapozinho, Presidente Bernardes, Presidente Epitácio, Presidente Prudente, Presidente Venceslau, Rancharia, Regente Feijó, Ribeirão dos Índios, Rosana, Sandovalina, Santo Anastácio, Santo Expedito, Taciba e Teodoro Sampaio (Figura 1).

Figura 1 – Localização da área



Segundo Ross e Moroz (1997), a área insere-se na unidade morfoestrutural Bacia Sedimentar do Paraná. De acordo com Loczy & Ladeira (1976) apud Ross & Moroz (1997), a Bacia Sedimentar do Paraná representa uma complexa fossa tectônica. Seu

embasamento é constituído principalmente de rochas cristalinas pré-Cambrianas e, subordinadamente, por rochas neo-paleozóicas afossilíferas e encontra-se preenchida por sedimentos na maior parte continentais e alguns depósitos marinhos, datados do Siluriano Superior até o Cretáceo (Grupo Bauru), além de lavas basálticas de idade mesozoica. Embutida na morfoestrutura Bacia Sedimentar do Paraná, encontra-se ainda a morfoestrutura denominada Bacias Sedimentares Cenozóicas, representada na área de estudo pelas planícies fluviais.

Quanto às unidades morfoesculturais, estão presentes na área o Planalto Central Ocidental (pertencente à morfoestrutura Bacia Sedimentar do Paraná) e Planícies Fluviais (morfoestrutura Bacias Sedimentares Cenozóicas).

O Planalto Central Ocidental engloba terrenos sedimentares com idades desde o Devoniano ao Cretáceo, "todo contato dessa unidade com as depressões circundantes é feito através de escarpas que se identificam como frentes de cuesta única, ou desdobradas em duas ou mais frentes" (ROSS, 1996, p.55).

Esta unidade morfoescultural apresenta Unidades de Padrões de Formas Semelhantes com diferentes modelados e índices de dissecação do relevo, como: Dt (modelados de dissecação com topos tabulares) e Dc (modelados de dissecação com topos convexos).

Os modelados de dissecação com topos tabulares (Dt) são feições de vertentes suavemente inclinadas. Resultam da instauração de processos de dissecação, atuando sobre uma superfície aplanada e constituem Formas de Relevos identificadas como colinas amplas e baixas, cujos Índices de Dissecação do Relevo indicam que o grau de entalhamento dos vales varia entre fraco e médio e que a densidade de drenagem é baixa. Já os modelados de dissecação com topos convexos (Dc), são caracterizadas por vales bem definidos e vertentes de declividades variadas. Os Índices de Dissecação do Relevo indicam graus de entalhamento dos vales variando entre fraco e médio e densidade de drenagem média o que caracteriza Formas de Relevo de colinas baixas a médias com topos mais estreitos e alongados.

As unidades morfoesculturais Planícies Fluviais são relevos que correspondem às áreas essencialmente planas, geradas pela agradação de sedimentos associados aos depósitos do Quaternário, principalmente do Holoceno (ROSS, 1996). As planícies fluviais ocorrem em áreas restritas, como no curso inferior do Rio Paranapanema à jusante da UHE de Rosana, no Rio Paraná à jusante da UHE Porto Primavera, no Rio Santo Anastácio e Ribeirão das Anhumas (GARCIA et al, 2013). O Quadro 6 apresenta os Índices de Dissecação identificados na área e os níveis de fragilidade atribuídos de acordo com Ross (1994).

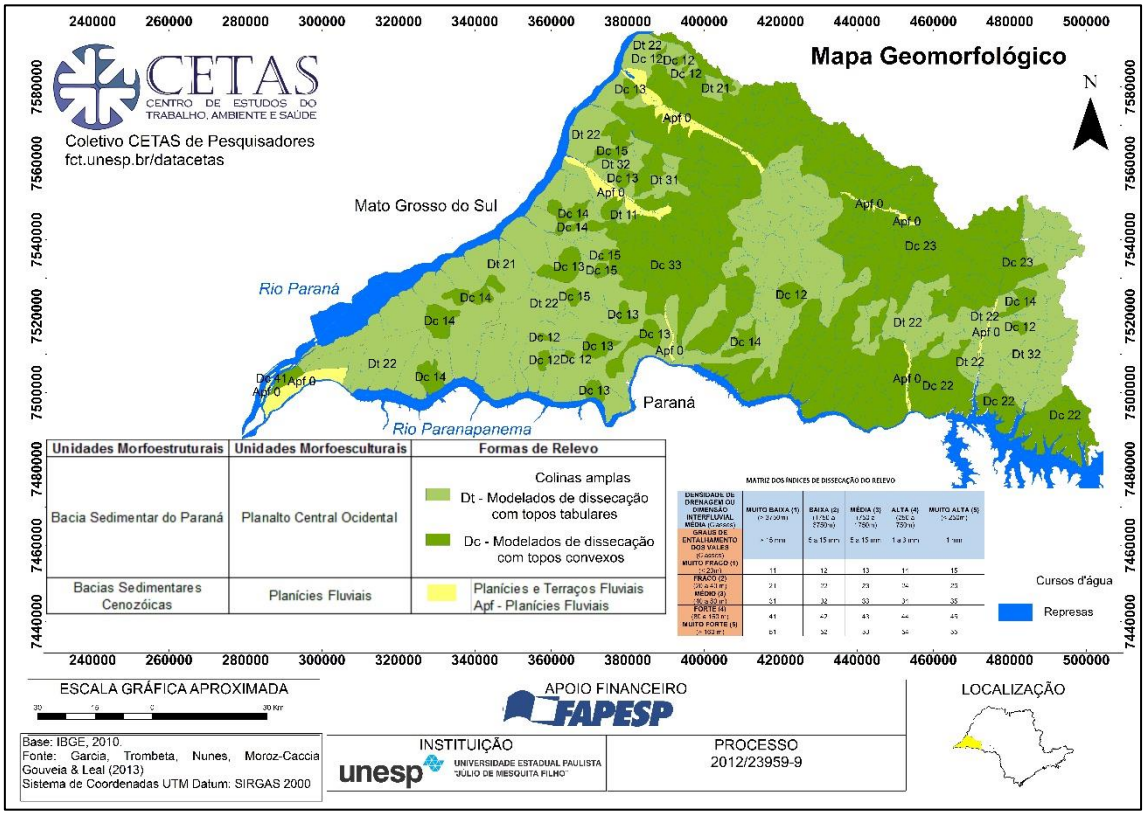
Quadro 6 - Índices de Dissecação identificados e os níveis de fragilidade atribuídos.

Índice de Dissecação	FRAGILIDADE
0 (Apf)	Restrito (Muito Alta face à ocorrência de inundações periódicas)
11	Muito Fraca aos processos erosivos
12	Fraca aos processos erosivos
13	Média aos processos erosivos
14	Alta aos processos erosivos
15	Muito Alta aos processos erosivos
21	Fraca
22	Fraca
23	Média
31	Média
32	Média

33	Média
41	Alta

A figura 2 apresenta o mapa geomorfológico do Pontal do Paranapanema, utilizado como produto intermediário para a elaboração do Mapa de Fragilidade Ambiental do Pontal do Paranapanema.

Figura 2 – Mapa geomorfológico do Pontal do Paranapanema



Fonte: Garcia et al (2013)

Para a variável solos, utilizou-se mapa produzido por Trombeta et al (2014) a partir da compilação e adaptação do Mapa Pedológico do Relatório de Situação de Recursos Hídricos (Relatório Zero) (CPTI, 1999). O Quadro 7 apresenta os tipos de solos identificados na área de estudos e os respectivos níveis de fragilidade atribuídos.

Quadro 7 - Tipos de solos identificados na área de estudos e os respectivos níveis de fragilidade atribuídos de acordo com Ross (1994).

TIPOS DE SOLOS	FRAGILIDADE
Gleissolos Háplicos	Restrito (Muito Alta face às inundações e instabilidade do terreno)
Latossolos Vermelhos	Fraca
Nitossolos Vermelhos	Média
Argissolos Vermelhos	Alta
Argissolos Vermelho-Amarelos	Alta
Neossolos	Muito Alta

Para a variável cobertura vegetal, utilizou-se o Mapa de Uso e Ocupação das Terras, elaborado por Trombeta et al (2013) a partir da classificação das imagens do satélite Resourcesat de 2013 e dos dados do CANASAT do INPE, referente à safra de 2012 e os dados do Biota FAPESP, especificamente os do Inventário Florestal, os quais subsidiaram a aferição das classes Florestal e Cultura Temporária. O Quadro 8 apresenta as classes de Uso e Ocupação das Terras mapeadas na área de estudo e os níveis de Fragilidade atribuídos de acordo com Ross (1994).

Quadro 8 – Classes de Uso e Ocupação das Terras e níveis de Fragilidade

CLASSES	FRAGILIDADE
Pastagem	Alta
Cultura temporária	Alta
Silvicultura	Baixa
Cobertura florestal	Muito baixa
Cana	Alta
Áreas urbanizadas	Média

Para a variável clima, utilizou-se o mapa de Unidades Climáticas elaborado por Trombeta et al (2013) a partir de Boin (2000). Segundo Boin (op cit) o Oeste Paulista está localizado em uma faixa de transição climática, entre as zonas de domínio das massas tropicais e polares, além das perturbações frontais. Neste aspecto, uma das principais características é a variabilidade climática existente na região. De acordo com o mapa produzido, a região do Pontal do Paranapanema apresenta as seguintes unidades climáticas (Quadro 9).

Quadro 9 – Unidades Climáticas do Pontal do Paranapanema

UNIDADE	PLUVIOSIDADE MÉDIA ANUAL	INTENSIDADE DAS CHUVAS	Nº DE DIAS COM CHUVAS	ESTAÇÃO DE MAIOR IMPACTO PLUVIAL	INDICE DE FRAGILIDADE
Região de Presidente Prudente. BIVmA	1200 a 1300 mm	Pluviosidade em 24 h: média a baixa Densidade das chuvas: média	80 a 100	Verão e primavera	Média
Região de Iepê Médio Rio Paranapanema BIIIm	Mais de 1400 mm	Pluviosidade em 24 h: média a baixa Densidade das chuvas: média	100 a 120	Verão	Muito Alta
Região de Tupã, Médio Rio do Peixe. AIm	1300 a 1400 mm	Pluviosidade em 24 h: alta Densidade das chuvas: média	80 a 140	Primavera	Alta
Pontal do Paranapanema, Baixo Rio Paranapanema BIVmB	1200 a 1300 mm	Pluviosidade em 24 h: média Densidade das chuvas: média a alta	80 a 100	Primavera	Alta
Áreas de Transição					Média

Fonte: Trombeta et al (2013) adaptado de Boin (2000)

A ocupação humana no Pontal do Paranapanema e os processos erosivos

Segundo os dados do último Censo Demográfico (IBGE, 2010), a população total do território é de 583.766 habitantes, dos quais 59.911 vivem na área rural, o que corresponde a 10,26% do total. Possui 12.349 agricultores familiares, 5.853 famílias assentadas.

Com uma ocupação que data do final do século XIX, o Pontal do Paranapanema revela, em seu histórico fundiário, o mais conhecido caso de grilagem de terras do país (Leite, 1998). A história agrícola do Extremo Oeste do Estado de São Paulo registra intensas mobilizações destinadas à implantação de ciclos produtivos como o café, algodão, amendoim e pastagens. A utilização desses solos para produção de alimentos e matérias primas, sem os devidos cuidados conservacionistas, resultou num processo contínuo de alteração da estrutura natural, ocasionada pelos implementos agrícolas e preparo intensivo, resultando no aumento das perdas por erosão (NUNES et al., 2006).

Segundo estudos e mapeamento efetuados pelo IPT/DAEE (1997), o oeste paulista está predominantemente inserido nas classes III – Média, II – Alta e I – Muito Alta de suscetibilidade à erosão.

Dentre as 22 Unidades de Gerenciamento dos Recursos Hídricos do estado de São Paulo, a UGRHI 22 ocupa a sexta colocação em número de ocorrência de processos erosivos (3289 voçorocas e ravinas) perdendo apenas para a UGRHI 21 – Rio do Peixe (6990 pontos de erosão), UGRHI-14 Alto Paranapanema (5355 pontos de erosão), UGRHI-10 Tietê-Sorocaba (4308 pontos de erosão), UGRHI-2 Paraíba do Sul (4054 pontos de erosão) e UGRHI-9 Mogi-Guaçu (3402 pontos de erosão), conforme aponta IPT/DAEE (2012).

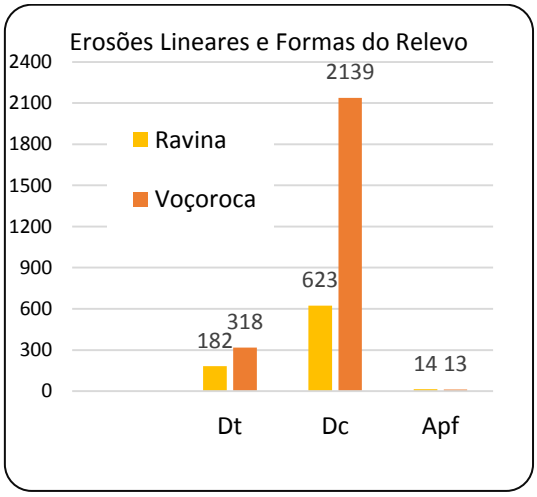
De acordo com o Comitê da Bacia Hidrográfica do Pontal do Paranapanema (2006), 44% dos recursos gastos pelo Fundo Estadual de Recursos Hídricos na UGRHI 22, entre os anos de 1996 e 2006, foram destinados ao controle de erosão rural.

Ainda segundo os levantamentos efetuados por IPT/DAEE (2012), na região do Pontal do Paranapanema foram identificadas 41 ravinas e 34 voçorocas em áreas urbanas e, nas áreas rurais, 778 ravinas e 2436 voçorocas.

Distribuições dos processos erosivos e as variáveis analisadas

Para a variável relevo, os resultados obtidos na correlação entre o mapa geomorfológico e os pontos de processos erosivos podem ser observados no gráfico da Figuras 3 e na Tabela 1.

Figura 3 – Correlação entre erosões e formas de relevo



Indices de Dissecação	Área (Km²)	Nº de erosões	Área/erosões (Km²)
Muito Fraco (11)	16.4602	1	**16,46**
Fraco (12, 21, 22)	5315.551	492	**10,8**
Médio (23, 31, 32, 33)	5620.3	2677	**2,09**
Forte (14, 41)	303.6213	55	**5,52**
Muito Forte (15)	65.70044	185	**0,35**

Tabela 1 – Relação entre área de cada categoria de Dissecação do Relevo e número de erosões

Observa-se que os processos erosivos predominam nas formas denudacionais de topos convexos. Esses resultados podem indicar que as áreas de topos tabulares apresentam menor fragilidade. Em relação aos índices de dissecação, ao considerarmos a área ocupada por cada categoria de índice de Dissecação, observa-se que os processos erosivos se concentram nas áreas de Dissecação do relevo Muito Forte, onde ocorre um foco erosivo a cada 0,35 Km² (Fragilidade Muito Alta), Média (Fragilidade Média), apresentando um foco erosivo a cada 2,09 km² e Forte (Fragilidade Alta), com um foco erosivo a cada 5,52 km².

Para a variável solos, os resultados obtidos na correlação entre o mapa pedológico e os pontos de processos erosivos podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2 - Correlação entre erosões e tipos de solos

Tipos de solos	Fragilidade	Área (Km²)	Nº de Erosões	Área/erosões (km²)
Gleissolos Háplicos	Muito alta face às inundações e instabilidade do terreno	80.8	1	80.8
Latossolos Vermelhos	Baixa aos processos erosivos	4111.65	346	11,88
Nitossolos Vermelhos	Média aos processos erosivos	1250.13	156	8,01
Argissolos Vermelhos	Alta aos processos erosivos	2241.15	351	6,38
Argissolos Vermelho-Amarelos	Alta aos processos erosivos	4082.23	2430	1,67
Neossolos	Muito alta aos processos erosivos	112.65	5	22.53

Ao considerarmos a área ocupada por cada tipo de solo, observa-se que os processos erosivos se concentram predominantemente nas áreas Argissolos Vermelho-amarelos e Argissolos vermelhos (Fragilidade Alta) ocorrendo um foco erosivo a cada 1,67 Km² e a cada 6,38 Km² respectivamente e, secundariamente, nas áreas de Nitossolos Vermelhos (Fragilidade Média), onde ocorre um foco erosivo a cada 8, 01 Km².

Para a variável uso da terra e cobertura vegetal, os resultados obtidos na correlação entre o Mapa de Uso e Ocupação das Terras e os pontos de processos erosivos podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3 - Correlação entre erosões e tipos de uso da terra e cobertura vegetal.

Uso e cobertura da terra	Fragilidade	Área (Km²)	Nº de Erosões	Área/erosões (km²)
Área urbana	Média	78,05	16	4,87
Cana	Alta	1603.69	410	3,91
Cultura temporária	Alta	2407,21	479	5,02
Cobertura florestal	Muito baixa	959,28	25	38,37
Pastagem	Alta	6.773,10	2356	2,87
Silvicultura	Baixa	50,16	3	16,72

Conforme se observa, os processos erosivos concentram-se mais nas áreas de pastagens (um processo erosivo a cada 2,87 km²), nas áreas com cultivo de cana (um processo erosivo a cada 3,91 Km²), nas áreas urbanas (um processo erosivo a cada 4,87 Km²) e nas áreas de culturas temporárias (um processo erosivo a cada 5,02 Km²). Esses tipos de usos são classificados por Ross (1994) como de Alta e Média Fragilidade.

Para a variável clima, os resultados obtidos na correlação entre o mapa de Unidades Climáticas elaborado por Trombeta et al (2013) a partir de Boin (2000) e os pontos de processos erosivos podem ser observados na Tabela 4.

Tabela 4 - Correlação entre erosões e Unidades climáticas.

Unidades climáticas	Fragilidade	Área (Km²)	Nº de Erosões	Área/erosões (km²)
Região de Presidente Prudente. Impacto Pluvial Medianamente Forte	Média	4440.29	1903	2,33
Pontal do Paranapanema, Baixo Rio Paranapanema	Alta	5289.87	951	5,56
Região de Tupã, Médio Rio do Peixe. Impacto Pluvial Forte	Alta	17.86	1	17,86
Região de Iepê Médio Rio Paranapanema. Impacto Pluvial Muito Forte	Muito alta	923.92	81	11,40
Zonas de Transição	Média	859.82	353	2,43

Observa-se maior concentração de processos erosivos na unidade Região de Presidente Prudente (Fragilidade Média), com a ocorrência de um processo erosivo a cada 2,33 Km²; nas zonas de transição (Fragilidade Média), com um processo erosivo a

cada 2,43 Km² e na unidade Pontal do Paranapanema, Baixo Rio Paranapanema (Fragilidade Alta), com um processo erosivo a cada 5,56 Km².

Análise dos resultados

Conforme se observa na Tabela 5 e nas figuras 4, 5, 6 e 7, os níveis de fragilidade propostos por Ross (1994) para as variáveis relevo e uso e cobertura da terra apresentaram-se bastante coerentes com a concentração de processos erosivos verificados, enquanto que a variável solos apresentou discrepância em relação ao nível de fragilidade muito alto. Entretanto, por corresponderem predominantemente à áreas de Neossolos litólicos, a pouca ocorrência de processos erosivos justifica-se pela sua baixa utilização por tratarem-se solos pobres até mesmo para pastagens e pelo fato de serem solos pouco desenvolvidos, com pequena quantidade de material a ser mobilizados pela erosão. Se excluirmos essa discrepância, a correlação entre a ocorrência de erosões e os níveis de fragilidade propostos para a variável solos apresenta-se bastante coerente (Figura 8).

Já a variável clima, apresentou correlação inversa, ou seja, nas áreas classificadas de acordo com Boin (2000) com média fragilidade os processos erosivos são mais frequentes do que nas áreas classificadas como de fragilidade muito alta (impacto pluvial muito forte).

Tabela 5 – Relação entre área e ocorrência de erosões para cada variável analisada.

	RELAÇÃO ENTRE ÁREA/PROCESSOS EROSIVO PARA CADA VARIÁVEL			
FRAGILIDADE	**Relevo**	**Solos**	**Uso e cobertura da terra**	**Clima**
Muito baixa	16,46	----------	38,37	----------
Baixa	10,8	11,88	16,72	----------
Média	2,09	8,01	4,87	2,33 e 2,43
Alta	5,52	6,38 e 1,67	3,91; 5,02 e 2,87	5,56 e 17,86
Muito alta	0.35	22.53	----------	11,40

Figura 4 – Correlação entre a ocorrência de erosões e os níveis de Fragilidade da variável relevo

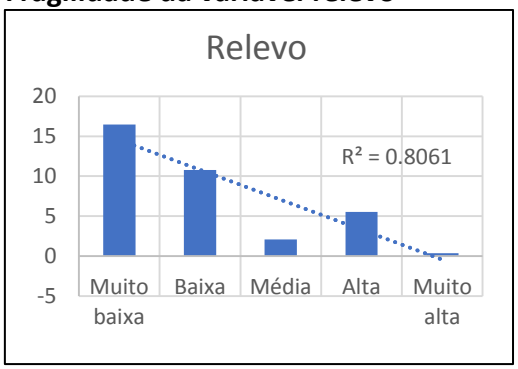


Figura 5 – Correlação entre a ocorrência de erosões e os níveis de Fragilidade da variável solos

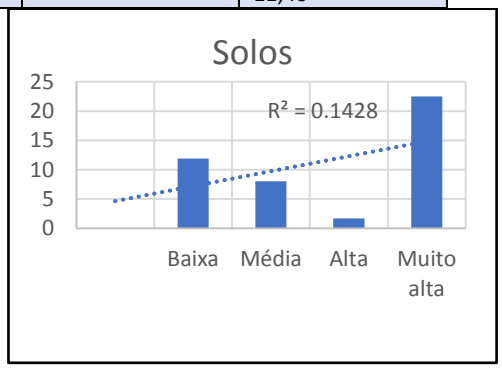
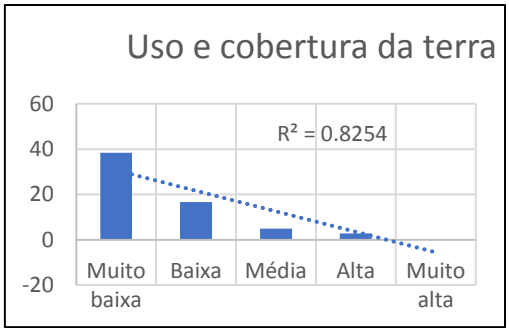


Figura 6 – Correlação entre a ocorrência de erosões e os níveis de Fragilidade da variável uso e cobertura da terra



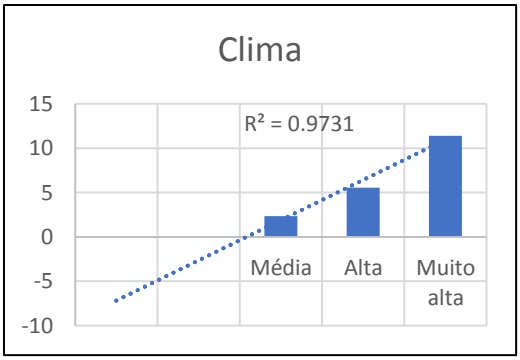
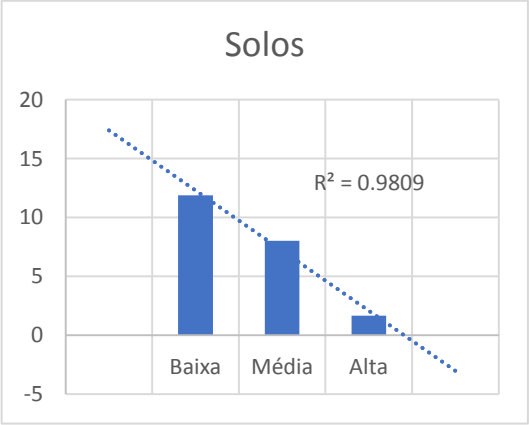


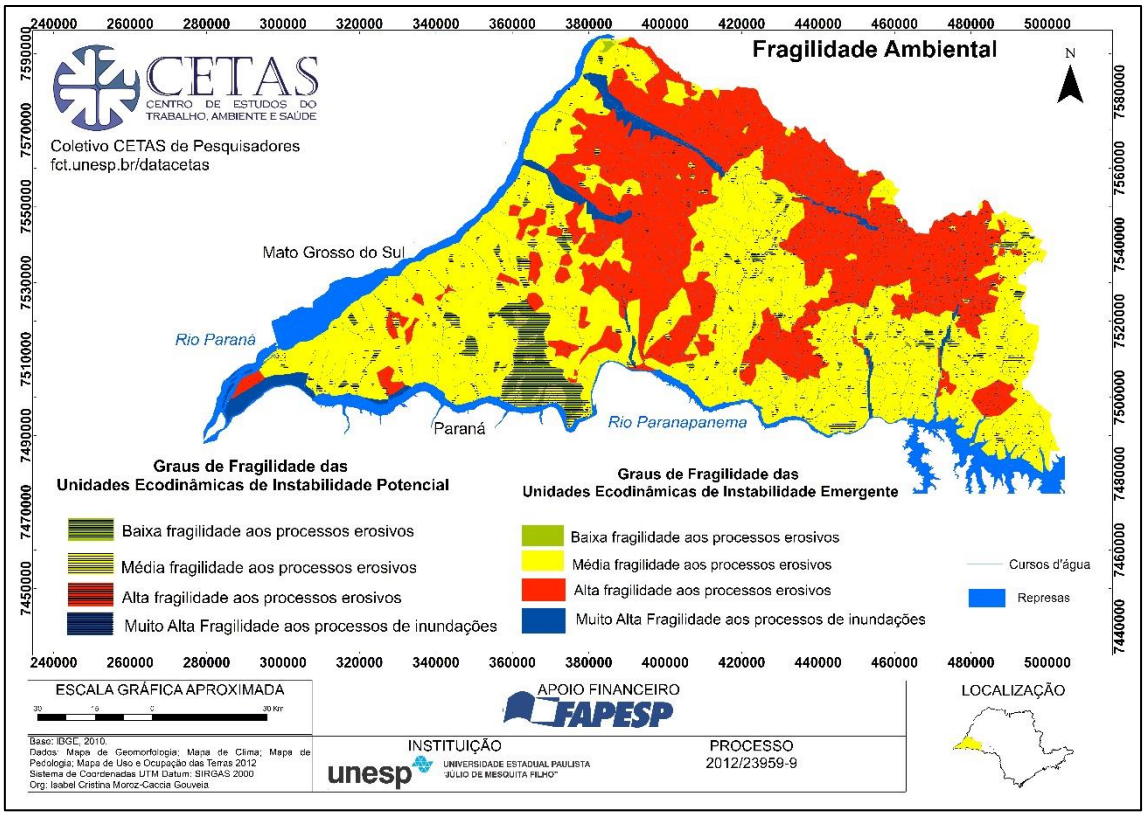
Figura 7 – Correlação entre a ocorrência de erosões e os níveis de Fragilidade da variável clima.

Figura 8 – Correlação entre a ocorrência de erosões e os níveis de Fragilidade da variável solos (excluindo-se os Neossolos)



Os resultados obtidos permitiram determinar as percentagens de importância relativa para cada variável. Desse modo, estabelecemos 40% para a variável solos e 30% para as variáveis relevo e uso e cobertura da terra. A variável clima foi descartada para a elaboração do Mapa de Fragilidade Ambiental (Figura 9).

Figura 9 – Mapa de Fragilidade Ambiental do Pontal do Paranapanema



Considerações finais

A correlação dos mapas temáticos com os pontos de erosões mapeados pelo IPT (2012) em ambiente SIG, permitiu avaliar quais as variáveis importantes para determinação da Fragilidade Ambiental face aos processos erosivos lineares no Pontal do Paranapanema, qual a importância relativa de cada variável e ainda, serviu para validar as matrizes propostas por Ross (1994) para a determinação da fragilidade ambiental. Assim, os procedimentos permitiram a ponderação sistemática de cada variável analisada e a consideração quanto a sua influência em relação ao conjunto das variáveis, permitindo a elaboração de uma matriz para a análise integrada, utilizada para a geração do mapa de fragilidade ambiental.

Agradecimentos

Pesquisa desenvolvida com o apoio financeiro da FAPESP (Projeto “Mapeamento do Agrohidronegócio Canavieiro no Pontal do Paranapanema.", Coletivo CETAS de Pesquisadores Centro de Estudos do Trabalho, Ambiente e Saúde - PROJETO TEMÁTICO FAPESP- Processo: 2012/23959-9).

Referências bibliográficas

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. Ícone, São Paulo, 1995. 355 p

BERTRAND, G. Paysage et géographie physique globale. Esquisse méthodologique, **Révue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest**, v. 39, n. 3, Toulouse, 1968, p. 249-272.

BOIN, M. N. **Chuvas e erosões no oeste paulista: uma análise climatológica aplicada**. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente), Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. INPE, São José dos Campos, 2001.

CASSETI, V. **Estudo dos efeitos morfodinâmicos pluviais no Planalto de Goiânia (uma análise quantitativa de resultados experimentais)**. Tese de doutorado, FFLCH-USP, São Paulo, 1983.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PONTAL DO PARANAPANEMA. **CBH-PP: 10 anos de implantação. Texto comemorativo dos 10 anos de instalação do Comitê da Bacia Hidrográfica do Pontal do Paranapanema e Secretaria Executiva do CBH-PP**. Presidente Prudente, 2006, 50p.

CPTI, Cooperativa de Serviços, Pesquisas Tecnológicas e Industriais. **Relatório da Situação dos Recursos Hídricos da Bacia do Pontal do Paranapanema. CBH-PP: Relatório Zero**. São Paulo, 1999.

CREPRANI, E.; MEDEIROS, J. S. DE; FILHO, P.H.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico –econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos, INPE, 2001. 124 p. (INPE –8454 –RPQ/722).

GARCIA, R. M.; TROMBETA, L. R.; NUNES, R. da S.; MOROZ-CACCIA GOUVEIA, I. C. & LEAL, A. C. Mapeamento Geomorfológico da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Pontal do Paranapanema, São Paulo, Brasil in: **Anais do IV Workshop Internacional sobre Planejamento e Desenvolvimento Sustentável em Bacias Hidrográficas,** Presidente Prudente, 2013**,** p 1487-1500.

IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA. Disponível em: Acesso em: 25 de setembro de 2016.

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas **Programa Orientações** Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE, São Paulo, 1997.

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Cadastramento de pontos de erosão e inundação no Estado de São Paulo, RELATÓRIO TÉCNICO 131.057 – 205** Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE, São Paulo, 2012.

LEITE, J. F. **A Ocupação do Pontal do Paranapanema**, Hucitec, São Paulo, 1998.

MARQUES, J.Q.A.; BERTONI, J.; BARRETO, G.B. Perdas por erosão no Estado de São Paulo. **Bragantia,** Campinas, v.20, 1961, p.1143-1182.

NUNES, J.O.R.; PERUSI, M.C.; PETERLINI, G.H.C.; TIEZZI, R.O.; PISANI, R.J. e SANTANA, E.L. Variações texturais dos Latossolos Vermelhos do Assentamento Rural Antônio Conselheiro-Mirante do Paranapanema/SP**. Geografia em Atos**, v. 1, p. 30-39, Presidente Prudente, 2006.

ROSS, J. L. S. **Ecogeografia do Brasil: subsídios para planejamento ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

ROSS, J. L. S. Os Fundamentos da Geografia da Natureza. In: ROSS, J. L. S.(org.) **Geografia do Brasil**. Edusp, São Paulo, p. 13-66, 1996.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia.** V.8, São Paulo, 1994.

ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia**. V.6, São Paulo, 1992.

ROSS, J. L. S**. Geomorfologia: ambiente e planejamento**. São Paulo: Contexto, 1990.

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: Laboratório de Geomorfologia – Departamento de Geografia, FFLCH/USP/Laboratório de Cartografia Geotécnica - Geologia Aplicada – IPT/FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, 1997. Escala 1:500.000.

SANTOS, J. de O. Relações entre Fragilidade Ambiental e Vulnerabilidade Social na susceptibilidade aos riscos, **Revista Mercator**, v. 14, n. 2, Fortaleza, p. 75-90.

SOTCHAVA, V. B. Uma teoria de classificação de geossistemas da vida terrestre. **IGEOG-USP** n. 14, São Paulo, 1978.

SPÖRL, C. **Análise da fragilidade ambiental relevo-solo com aplicação de três modelos alternativos nas altas bacias do Rio Jaguari Mirim, Ribeirão do Quartel e Ribeirão da Prata. São Paulo,** 1v. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE, Diretoria Técnica, SUPREN, Rio de Janeiro, 1977.

TRICART, J.; KILIAN, J. **L' éco-géographie et l' aménagement du milieu naturel**. Maspero, Paris, 1979. 325p.