
MAPEAMENTO DE SÍNTESE COM PROCESSO ANALÍTICO HIERÁRQUICO E OPERADOR FUZZY GAMA NA DETECÇÃO DE ÁREAS DE FRAGILIDADE AMBIENTAL.

STELA ROSA AMARAL GONÇALVES 1

RENATA RIBEIRO DE ARAÚJO 2

NILTON NOBUHIRO IMAI 3

Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”-FCT - UNESP
Programa de Pós Graduação em Ciências Cartográfica- PPGCC
Departamento de Engenharia Cartográfica, São Paulo, SP
stelarosaengenharia@gmail.com, ribeiro@fct.unesp.br, nilton.imai@gmail.com

RESUMO– Este trabalho teve como objetivo realizar uma análise ambiental do meio físico relacionado ao manancial do Rio Santo Anastácio/SP, por meio de técnicas de geoprocessamento e validação de campo. Com dados de natureza física do ambiente foi criado um banco de dados no programa Spring 5.2 com os planos de informações: uso e cobertura da terra, distância ao curso d’água e declividade foram elaborados dois mapas sínteses de instabilidade ambiental um com o processo analítico hierárquico (AHP) e outro baseado na abordagem *Fuzzy gama*. Os resultados mostraram que, para o estudo de caso, o processo analítico hierárquico (AHP) produziu resultados com maior aderência com a realidade observada no campo.

ABSTRACT - This paper aimed to perform a related environmental investigation to the Rio Santo Anastácio / SP through geoprocessing techniques and field validation. With data from the physical nature of the environment a database was created in Spring 5.2 program with plans to information use and land cover, distance to the watercourse and slope maps two syntheses of environmental instability with *Analytical Hierarchy Process* (AHP) and another based on *fuzzy gama* operator .Os results showed that for the case study, the analytical hierarchical process (AHP) produced results with greater grip with the reality observed in the field.

1 INTRODUÇÃO

As formas de relevo oriundas de ambientes fluviais estão relacionadas aos processos de sedimentação e aos erosivos. Segundo Christofletti (1981), os sedimentos em suspensão dos cursos d’água ou de suas proximidades possuem uma granulometria variada e devido a essa diferença de tamanho vão tomar destinos diferentes na escala do tempo e do espaço.

Para Charlton (2008) o principal ambiente de análise do sistema fluvial é a bacia hidrográfica. Em uma bacia hidrográfica seu comportamento hidrológico está em função de suas características morfológicas, dentre elas temos a cobertura vegetal, área, forma e topografia.

Porém, observa-se que a proteção dos mananciais hídricos não vem ocorrendo, visto que as bacias hidrográficas brasileiras são alvo de significativas alterações de suas características naturais, em função das atividades antrópicas e do crescimento urbano.

Em razão de impactos antrópicos no meio ambiente em especial nos recursos hídricos e na bacia que os contém, observa-se uma política de importar água de bacias hidrográficas cada vez mais distantes dos centros urbanos, para satisfazer as necessidades e o crescimento da demanda. Segundo Hespanhol (2008) os romanos, que praticavam uso intensivo de água para abastecimento domiciliar e de suas termas, procuravam, de início, captar água de mananciais disponíveis nas proximidades, e à medida que esses se tornavam poluídos pelos esgotos dispostos sem nenhum tratamento, ou ficavam incapazes de atender à demanda, passavam a aproveitar a segunda fonte mais próxima, e assim sucessivamente.

É urgente a tomada de ações de recuperação dos recursos hídricos. Para tanto, o diagnóstico da situação ambiental de um ecossistema aquático é uma questão estratégica para de um projeto de recuperação, assim como a necessidade e interesse no desenvolvimento de ferramentas e métodos rápidos para auxílio na gestão desses

ecossistemas aquáticos modificados e assim agilizar a tomada de decisão em prol de um uso sustentável dos recursos naturais.

Um diagnóstico ambiental de recursos hídricos deve ser realizado com base nas características físicas de uma bacia hidrográfica, o que remete à necessidade de espacialização das variáveis que melhor representam esse meio físico. Neste trabalho adotou-se a hipótese de que a combinação de dados geográficos baseados em técnicas de inferência, podem produzir informações adequadas para a gestão de bacias hidrográficas e, mais especificadamente, de mananciais de recursos hídricos.

Diante do exposto, o mapeamento de áreas de instabilidade/fragilidade de uma área de estudo manancial do rio Santo Anastácio, produzido com base em duas abordagens de inferência geográfica poderá servir de base para outros estudos ou para tomada de decisões em prol de melhorias na gestão deste recurso.

1.1 Área de Estudo

A bacia do manancial rio Santo Anastácio totaliza uma área de 198,30 km², localizada na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Pontal do Paranapanema - UGRHI-22, no Oeste Paulista, abrangendo parte dos municípios de Presidente Prudente, Pirapozinho, Regente Feijó, Anhumas e Álvares Machado. Está localizada entre as coordenadas 22° 07' 37" S e 22° 16' 52" S e as coordenadas 51° 19' 46" W e 51° 31' 27" W (Dibieso, 2007). Espacialmente a bacia do alto rio Santo Anastácio localiza-se conforme Figura 1

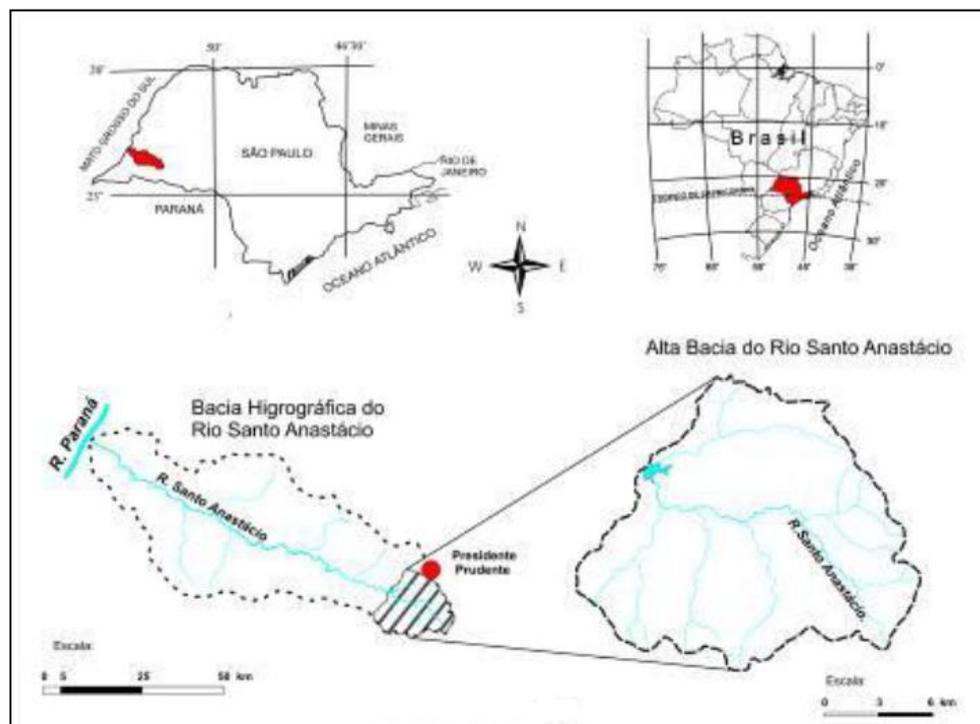


Figura 1 – Localização da área de estudo Fonte: Carpi, S. J ; Leal, A.C (2012)..

A sistemática atual de captação de água para o abastecimento humano no município de Presidente Prudente, no estado de São Paulo, segue a tendência de substituição onde após a qualidade ou a quantidade do recurso serem afetados a captação passe a ser transferida para outro recurso hídrico mais distante que esteja em melhores condições, resolvendo, precariamente, o problema de abastecimento.

Dentre as diversas ações impactantes ocorridas na bacia do rio Santo Anastácio pode-se citar a supressão da mata ciliar, o lançamento de esgoto doméstico e industrial “in natura”, a utilização de suas águas para dessedentação de animais e para tanques de aquicultura, os quais, sem um manejo adequado, comprometem a qualidade da água.

Ressalta-se, como resposta a estas ações perturbadoras, a eutrofização do reservatório no rio Santo Anastácio, construído para a captação de água. Desta forma, a partir de 1989 houve a necessidade de otimização das técnicas da ETA para o alcance da qualidade da água necessária ao abastecimento humano, havendo, portanto, uma elevação nos custos do tratamento da água.

Isto pode ser corroborado com os fatos históricos da captação de água no município. Até 1968 a cidade utilizava como manancial o córrego Mandaguari, nos arredores da cidade, abandonado em decorrência da expansão urbana, e substituído pelo rio Santo Anastácio, precisamente no alto curso. (Prefeitura Municipal de Pres. Prudente, 2013)

Em 1985 entrou em operação a captação no córrego do Limoeiro, no Balneário da Amizade, então considerado manancial emergencial. Estas captações, do Balneário da Amizade e do Santo Anastácio encontram-se próximas da Estação de Tratamento de Água (ETA) de Presidente Prudente. A partir de 1998 o rio do Peixe também passou a ser utilizado como manancial, e pelo seu porte passou a oferecer maior segurança de disponibilidade hídrica para Presidente Prudente. O ponto de captação do rio do Peixe dista aproximadamente a 42 km da ETA do município de Presidente Prudente. (Prefeitura Municipal de Pres. Prudente, 2013).

Esta substituição do recurso hídrico é reflexo do manejo inadequado da bacia do rio Santo Anastácio, decorrendo na diminuição da quantidade e qualidade de suas águas, inviabilizando, portanto, o abastecimento do município de Presidente Prudente na sua totalidade através deste manancial.

Além dos problemas relacionados à qualidade da água, o manancial sofre com problemas relacionados à erosão, identificando-se a presença de um grande número de ravinas e voçorocas na área, devido à superutilização do curso d'água e não utilização de práticas conservacionistas, com conseqüente perda do solo e redução do volume do recurso hídrico.

Tendo em vista a problemática apresentada em torno do rio Santo Anastácio é necessário um estudo mais aprofundado da situação real do recurso hídrico tanto no espaço quanto no tempo. A área do manancial é composta pelos córregos: do Palmitalzinho; Noite Negra; da Olga; Embiri; Santa Luzia; Pindaíba; Araci; Lajeadozinho; São Sebastião; do Cedro; do Cedrinho e Botafogo.

1.2 Objetivo

Comparar as técnicas de síntese pelo processo hierárquico analítico e operador *Fuzzy gama* para inferir a variação espacial dos graus de fragilidade da bacia hidrográfica do alto rio Santo Anastácio/SP.

2 METODOLOGIA

2.1 Processamento de Imagem e classificação de uso e cobertura da terra

Utilizaram-se imagens do satélite Landsat5 (órbita/ponto – 222/075) do mês de setembro de 2011, esses dados orbitais foram adquiridos no *site* do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e os mesmos processados no *softwareSpring 5.2*.

Após a escolha das imagens que levou em consideração parâmetros como, por exemplo, a cobertura de nuvens e possíveis ruídos, realizou-se a aquisição da cena e recortou-se a região de interesse da imagem exatamente do mesmo tamanho nas três bandas espectrais. Criou-se um banco de dados e um projeto, posteriormente as imagens foram importadas para o software e georreferenciadas.

O uso e cobertura da terra foi mapeado, tendo como base a imagem Landsat 5 georreferenciada. A técnica utilizada foi a classificação supervisionada. Foi realizada uma transformação RGB->IHS onde foram geradas as 3 imagens separadas de intensidade, matiz e saturação. A composição colorida foi para Banda 3 o azul a Banda 4 com verde e Banda 5 com o vermelho

Posteriormente aplicou-se um contraste linear baseado no histograma da imagem que representava a componente da cor chamada de intensidade para ser utilizada juntamente com a componente de saturação e matiz na transformação IHS->RGB. A imagem contratada desta maneira foi usada para análise visual da cena.

Adotou-se a abordagem de classificação por regiões, tendo sido necessário segmentar a imagem nos polígonos usados para análise. O algoritmo do *Spring* realiza essa segmentação com base no algoritmo de crescimento por regiões.

Na etapa de treinamento seleciona-se regiões amostrais de treinamento para que o *Spring* possa gerar uma imagem classificada nas classes temáticas de uso e cobertura que se chamou de *vegetação, culturas, água, área urbana, pastagem e solo exposto*. Essas classes temáticas foram especificadas e incorporadas num modelo de dados temático do banco de dados geográficos.

2.3 Modelagem do terreno

A partir de um arquivo de dados amostrais na escala de 1:50.000 gerou-se uma grade regular utilizando o interpolador, Média Ponderada Por Quadrante.

Segundo Gonçalves (2011) a declividade tem o objetivo de representar a inclinação ou declividade do relevo. Essa informação tem sido muito utilizada nas últimas décadas em trabalhos relacionados às ciências da terra, planejamento regional, urbano e agrário, juntamente com outras representações gráficas.

A matriz de declividade foi produzida com base na grade de altimetria, sendo a unidade escolhida a porcentagem, conforme a metodologia proposta por Ross(1994) para mapeamento de fragilidade.

2.4 Mapeamento de síntese.

Aplicou-se uma ponderação conforme tabela 1. Desta forma a partir das classes já consagradas por ROSS (1994) e ROSS (2005), adaptou-se os códigos de 1 a 5 descritos na tabela 1 para uma escala entre 0 e 1, para posterior ponderação.

Tabela 1 – Classes de fragilidade para declividade. Fonte: adaptado de ROSS(2005)

Fragilidade	Categorias Hierárquicas	Código	Código adaptado
Muito Fraca	até 6%	1	0,1
Fraca	de 6% a 12%	2	0,3
Média	de 12% a 20%	3	0,5
Forte	de 20% a 30%	4	0,7
Muito Forte	acima de 30%	5	0,9

O plano de informação contendo o uso e cobertura da terra foi ponderado, ou seja, foram atribuídos pesos a cada classe temática. Para o uso e cobertura foram atribuídos pesos conforme tabela 2. Respeitou-se o grau de proteção aos solos pela cobertura vegetal e cultivada de Ross (1994), onde o autor organiza por ordem decrescente da capacidade de proteção e adaptou-se para a escala entre 0 e 1 demonstrados na tabela 2. Para esta pesquisa não existiu área estável e, portanto o peso zero não foi usado.

Tabela 2 – Classes de uso e cobertura. Fonte: adaptado de ROSS (1994)

Grau de Proteção	Tipo de Cobertura	Código Adaptado
1-Muito Alta	Florestas/Matas Naturais/ Florestas	0,2
2-Alta	Culturas de ciclos longos	0,4
3-Média	Pastagens	0,6
4-Baixa	Solo exposto entre ruas/área urbana	0,7
5-Muito Baixa e Nula	Áreas desmatadas/solo exposto	0,9

De acordo com a metodologia proposta por Ross (1994), para construção do mapa de fragilidade seria necessário obter informações das variáveis de uso e cobertura da terra, de padrões de forma do relevo onde no caso utilizou-se a declividade, e de solo. A fim de respeitar essa metodologia já consagrada, mas considerando a ausência de informações sobre solos na escala desejada, foi necessário adaptar essa metodologia. Para isso a informação de solos foi substituída pela informação da variável distancia ao rio que traz informações sobre a área de preservação permanente.

O plano de distancia ao rio foi elaborado a partir de uma drenagem na escala de 1:10000 da área de estudo, e padronizado com base em uma transformação de forma *Fuzzy* por meio da linguagem Legal. Os valores da distancia foram padronizados entre 0 e 1 pela aplicação da equação 1. Nessa transformação, valores menores que 30 metros recebem o valor 1 por serem consideradas de alta instabilidade e valores maiores que 50 metros recebem o zero por serem classificados como de baixa instabilidade.

$$dist_padr = \cos\left(\left(\frac{dist - 30}{50 - 30}\right) * \frac{\pi^2}{2}\right)^2 \quad (1)$$

Sendo, *dist* a distância em relação ao rio e *dist_padr* a distância em relação ao rio padronizada.

Foi aplicado o Método AHP (Processo Analítico Hierárquico) para atribuir pesos aos planos padronizados numa combinação de planos de informação baseada em média ponderada e avaliou-se a qualidade da matriz de comparação pareada com base na razão de consistência. Outro tipo de combinação de dados é baseada na inferência *Fuzzy*. Esse algoritmo utiliza métodos lógicos para combinar dados provenientes de vários conjuntos e, portanto também pode ser utilizado para se obter um mapa síntese de vários planos de informação. Dentre os operadores *Fuzzy* têm-se: *and*, *or*, *soma algébrica*, *produto algébrico* e operador *gama*.

O operador *and* comporta-se como uma interseção onde os valores de saída são controlados pelo menor valor de pertinência e o operador *or* com os valores de saída correspondente ao máximo em cada localização. Já o *produto algébrico* tem a função de um *produtório* e possui a tendência de produzir valores muito pequenos devido a multiplicação de valores menores que 1. A *soma algébrica* pode-se dizer que sejam operador complementar ao *produto algébrico* que causa um aumento do valor de pertinência.

Por ultimo o operador *Fuzzy gama* integra a *soma algébrica Fuzzy* com o *produto algébrico Fuzzy* por meio de uma multiplicação e um expoente *gama*(γ) conforme equação 1 a baixo onde o valor do *gama* pode variar entre 0 a 1.

$$\mu = (\text{soma algébrica Fuzzy})^\gamma \times (\text{produto algébrico Fuzzy})^{1-\gamma} \tag{2}$$

Operador *Fuzzy gama*, que foi adotado para elaboração do mapa Síntese, foi aplicado por meio de declarações, instanciações e sua respectiva operação matemática na programação legal. Ao fim, com uma ferramenta de cálculo de medida de classe do *Spring*, foi possível obter os valores em quilômetros quadrados respectivos de cada classe para os dois métodos.

2.5 Validações do mapeamento.

Realizou-se dois trabalhos de campo, o primeiro para reconhecimento de área em setembro de 2012 e escolha de possíveis seções de amostragem e o segundo para validação do mapeamento em março de 2013. A área foi dividida em três regiões, em relação ao curso principal do rio, com origem nas nascentes em direção ao exutório. Assim observaram-se três pontos de amostragem um em cada região com características específicas já detectadas durante o reconhecimento da área.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Em relação ao mapeamento das características morfológicas da área em estudo percebeu-se que a imagem realçada RGB/IHS apresentou brilho melhor, como se observa na figura 3. Esse contraste contribuiu muito para escolha das amostras de treinamento no processo de classificação supervisionada para elaboração do mapeamento de uso e cobertura da terra.

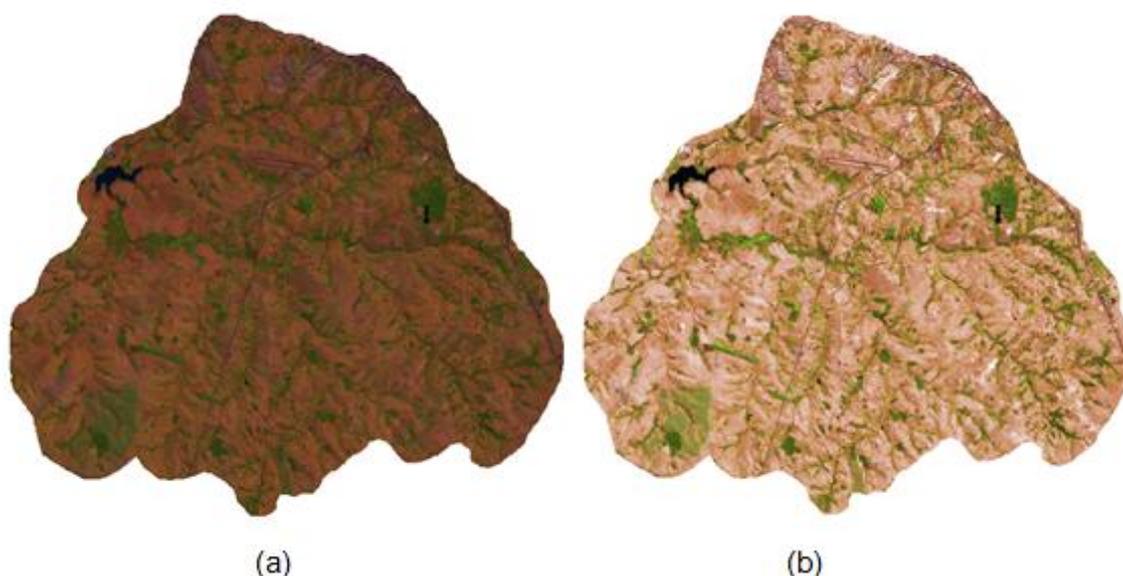


Figura 3 – Imagem Landsat 5 original (a) e contrastada (b). Composição colorida sendo para Banda 3 o azul a Banda 4 com verde e Banda 5 com o vermelho Fonte: próprio autor.

Com o mapa de uso e cobertura elaborado, ver figura, 4 calculou-se os resultados apresentados na tabela 3 através de uma ferramenta de medidas de classe do *Spring*. Observou-se que a área de corpos d’água é muito pequena. Isso ocorreu devido a largura dos canais serem inferiores a capacidade de resolução espacial da imagem de satélite usada. Estão apresentados na tabela 3 os tipos de uso e cobertura da área de estudo e seus respectivos valores em Km² e %.

Tabela 3 - Tipos de uso e cobertura da área de estudo e áreas em Km² e %.

Classes	Área em %	Área em Km2
Pastagem	52,8	104,71
Vegetação	22,87	45,36
Solo Exposto	9,26	18,37
Área Urbana	7,53	14,93
Culturas	7,15	14,18
Água	0,39	0,77

Observou-se um predomínio da classe de cobertura por pastagem com aproximadamente 53% de área seguida da cobertura vegetação que neste caso é composta principalmente por vegetação ciliar. Fato este que foi comprovado por meio dos trabalhos de campo e outros trabalhos realizados na mesma bacia hidrográfica.

Após avaliação e quantificação das classes de uso da terra na bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio, notou-se que no alto curso da Bacia predominam o uso de pastagem, alguns tipos de culturas como café e cana-de-açúcar para ração animal, vegetação natural principalmente próximo aos afluentes, além da grande extensão de uso urbano caracterizando o núcleo urbano de Presidente Prudente (GONÇALVES, 2011).

Áreas urbanas eram predominadas pela porção que abrange o município de Presidente Prudente mais especificadamente a região mais próxima ao aeroporto da cidade e também foi possível identificar a presença da rodovia Assis Chateaubriand que cruza a área central do manancial e a rodovia Raposo Tavares que aparece mais a leste na imagem. Já em relação às culturas maiores observou-se cana de açúcar e milho. Em alguns locais existiam hortas e diversas outras culturas para própria subsistência das famílias que lá moravam.

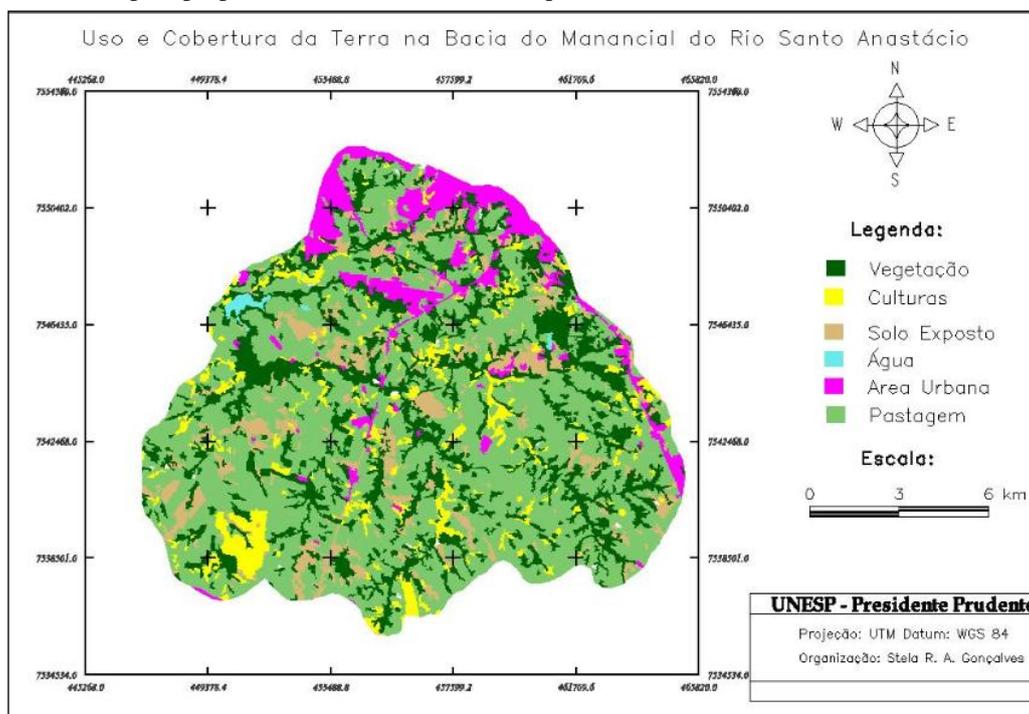


Figura 4 – Uso e cobertura da terra. Fonte: próprio autor.

A declividade da área de estudo, apresentou predominância de classes com declividade de 6% a 12% (tabela 4) o que corroborou com o resultado de GONÇALVES (2011) no qual ressalta a característica do alto curso da bacia pela predominância de declives entre 5 a 12% os quais são intercalados por terrenos com declives de 12% a 30%, vinculados

a patamares intermediários que dão acesso ao curso principal, tais declividades mais acentuadas implicam em um maior poder erosivo destas drenagens.

Tabela 4 - Classes de declividade e respectivas áreas em Km2

Classes	Área em Km2
Até 6%	131,1
De 6% a 12%	28,3
De 12% a 20%	19,30
De 20% a 30%	12,12
Acima de 30%	7,52

O resultado do zoneamento das áreas de instabilidade, com o método AHP está apresentado na figura 5. A matriz de comparação pareada apresentou uma razão de consistência de 0 sendo considerada excelente. Após o cálculo de medida de classe, uma ferramenta do *Spring*, observou-se que a área total das classes totalizou 198,34 Km². Esse resultado pode ser observado na tabela 5 bem como o valor em Km² de todas as classes de instabilidade ambiental nos dois métodos. O plano de informação temático resultante da aplicação do operador *Fuzzygama* chamado de Zoneamento está apresentado na figura 6. Com o mapa síntese de zoneamento elaborado pelos dois métodos calculou-se em Km² as respectivas áreas de instabilidade de cada classe conforme resultado da tabela 5.

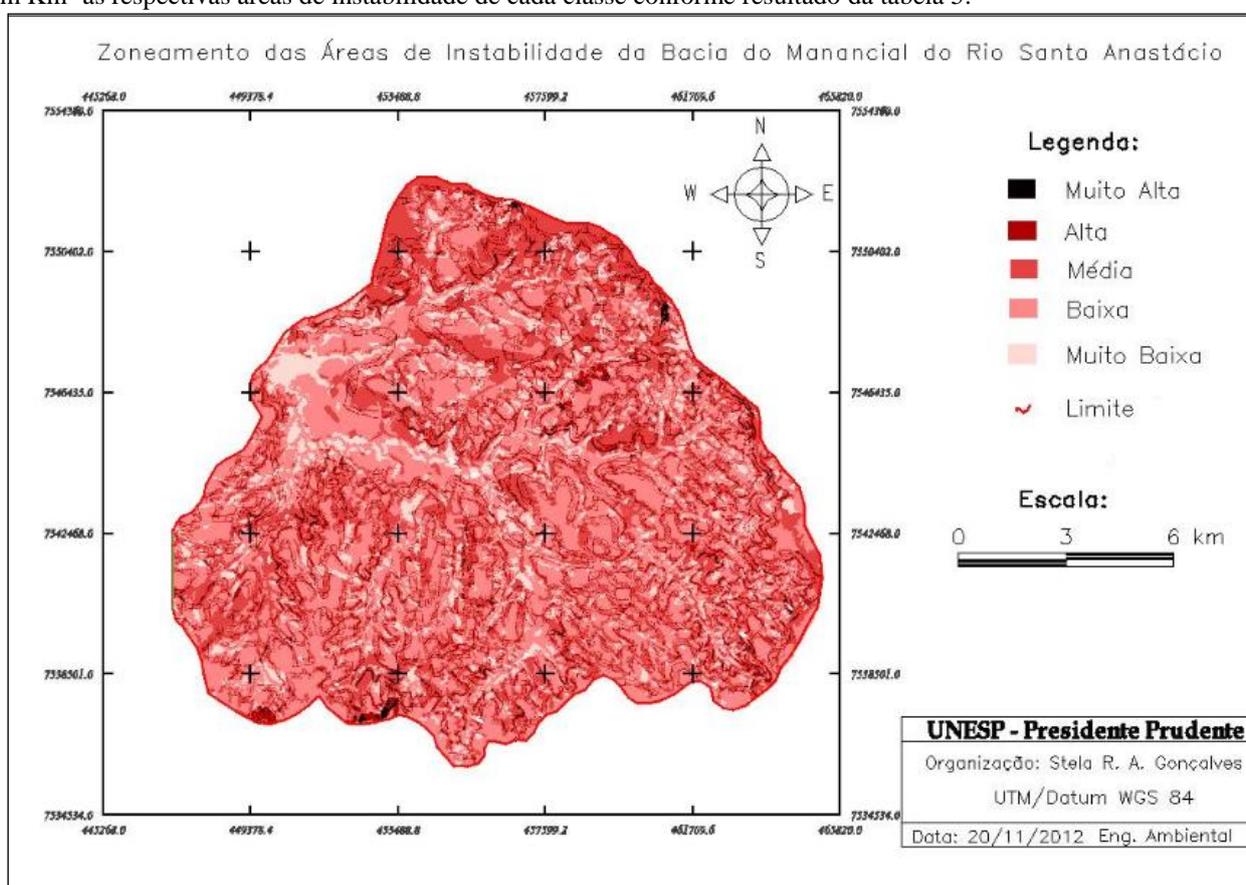


Figura 5 - Áreas de Instabilidade com método AHP. Fonte: próprio autor.

Tabela 5 – Valores das áreas de Fragilidade Ambiental pelo método AHP e *Fuzzy gama*.

Áreas de Instabilidade Ambiental		
Grau	Km ²	
Classes de instabilidade	Fuzzy Gama	AHP
Muito Alta	2,59	2,43
Alta	21,96	18,75

Média	53,83	68,20
Baixa	95,96	89,90
Muito Baixa	22,14	18,97
Não classificado	1,86	0,09
Total	198,34	198,34

Os resultados do mapeamento de síntese com o método AHP apresentaram as áreas sendo classificadas como Muito Alta ou Alta Instabilidade as áreas muito próximas ao Rio Santo Anastácio e de seus afluentes com uso e cobertura classificado por solo exposto ou áreas urbanas, bem como áreas com declividade acentuada.

Já a classe baixa do AHP foi constituída por áreas que não possuem declividade acentuada cobertas por pastagem ou vegetação e que estão a uma distancia maior que 50 metros dos cursos d'água. As áreas de Muito Baixa fragilidade foram aquelas dentro da planície fluvial com declividade até 6%. Por fim áreas de Média Instabilidade são áreas que não são classificadas nem como Muito Altas, Alta, Muito Baixa ou Baixa.

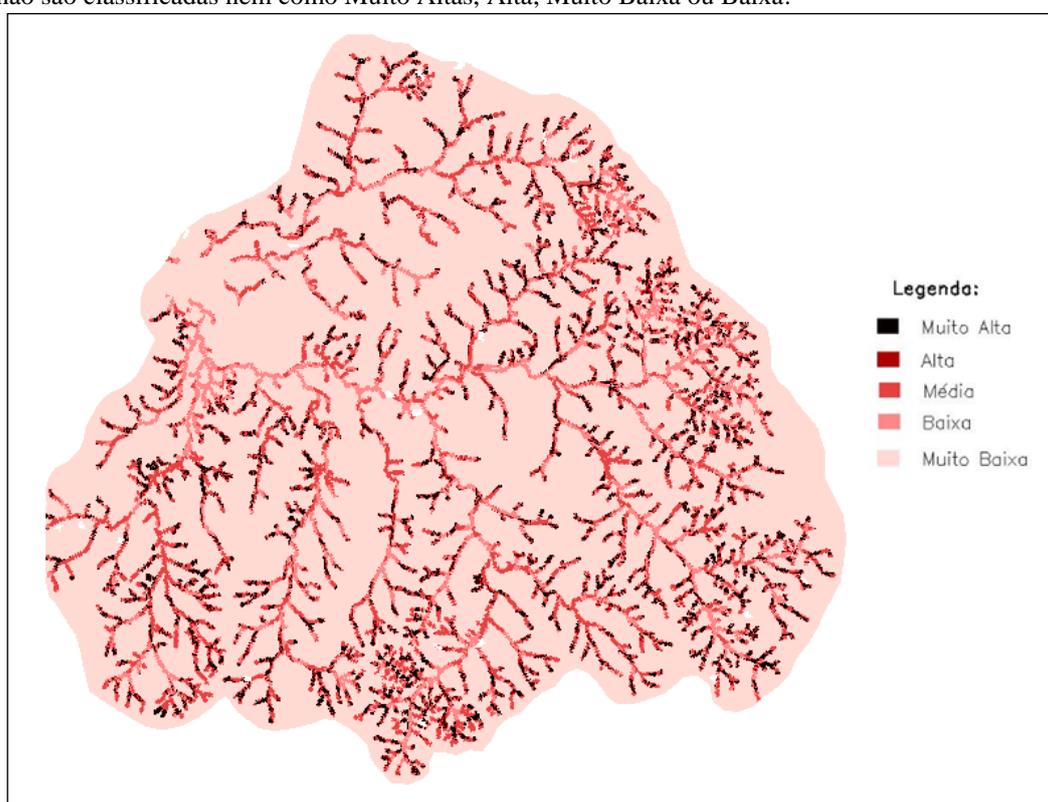


Figura 6 - Zoneamento por meio do operador *FuzzyGama*. Fonte: próprio autor.

Operador Fuzzy gama foi aplicado por meio de uma (equação 2) função matemática que levou em consideração o produto de uma soma algébrica com o produto algébrico dos planos de informação já padronizados e ponderados. A soma algébrica foi elevada a um fator gama 0.6 e o produto algébrico foi elevado a um valor gama 0,4.

Na tabela 5 observou-se que o Fuzzy gama apresentou 1,86 km² de área não classificada enquanto o AHP somente 0,09km². Além disso, o Fuzzy gama apresentou classificação pouco eficiente comprovada por validação de campo, onde locais observados com características típicas de regiões degradadas foram classificados como muito baixa fragilidade o que não corrobora com a realidade.

Um exemplo foi a região próxima a seção 2 de observação, localizada nas coordenadas planas X: 458799,29 e Y:7544654,73 onde, conforme a figura 7, com o pisoteio do gado e falta de vegetação ciliar, o solo fica exposto às margens do córrego. Nesse local ocorre aporte de sedimentos durante eventos de precipitação.

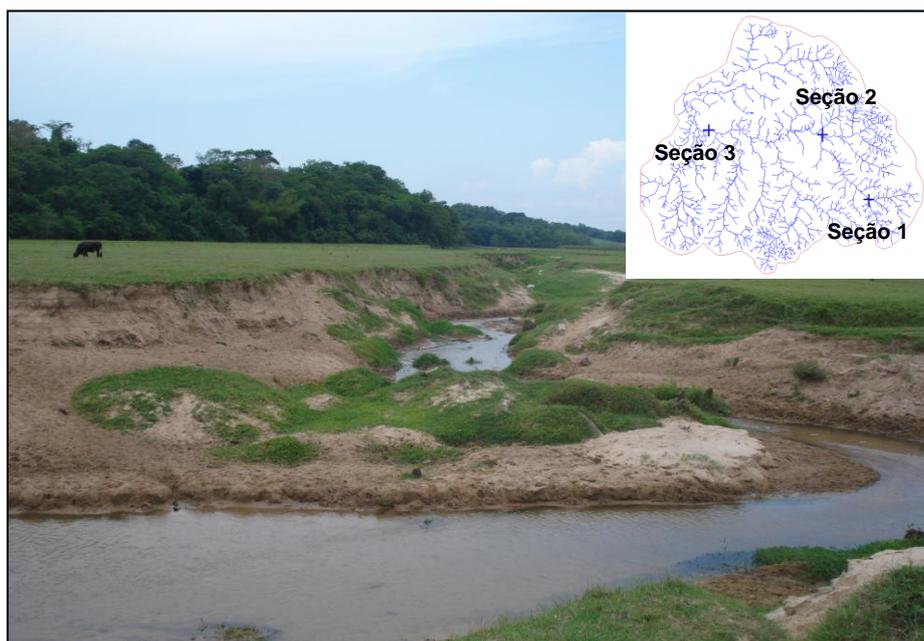


Figura 7 – Foto do segundo ponto de observação.

A primeira seção de observação em campo era a mais próxima das nascentes com coordenadas $22^{\circ}14'19.78''S$ e $51^{\circ}22'13.80''O$. Essa região apresentava mata ciliar degradada porém, ainda assim melhor protegida que a segunda. E a Terceira seção, mais próxima ao exutório da bacia ($22^{\circ}11'53.59''S; 51^{\circ}28'8.95''O$), possuía área de preservação permanente bem preservada em estágio de clímax porém a qualidade da água era mais degradada visualmente, por apresentar coloração escura e cheiro característico de esgoto.

Assim o resulta do mapa de zoneamento por meio da inferência Fuzzy gama não corroboraram com as seções observadas em campo como no exemplo da seção 2, cuja área apresentava degradação avançada e, portanto, deveria apresentar fragilidade no mínimo em grau médio, mas foi classificada como grau de fragilidade muito baixo.

Por outro lado, o mapeamento com o AHP confirmou a realidade apresentada nas seções de observações, haja vista que na seção 2 apresentou fragilidades médias e altas e na seção 3 grau baixo onde a mata ciliar realmente era preservada, entretanto a qualidade da água parecia comprometida, porém como não foram inseridos dados espaciais de variáveis que avaliam a qualidade da água nas seções o mapeamento corrobora com as características físicas da bacia.

4 CONCLUSÃO

A comparação dos resultados obtidos pelas duas abordagens mostrou que o método AHP produziu resultados que apresentaram maior aderência com as observações de campo. Nota-se que o método AHP foi capaz de produzir uma variação mais suave entre as classes de fragilidade no espaço, com variações que correspondem às variações do meio físico. Enquanto que os operadores Fuzzy generalizaram excessivamente os resultados.

As técnicas de geoprocessamento utilizadas neste trabalho foram eficientes para auxiliar e facilitar o processo de análise por meio da identificação das áreas de instabilidade. Com base no levantamento realizado, constatou-se por meio da análise do uso e ocupação do solo na bacia o predomínio das atividades agropecuárias na bacia, a degradação das áreas de vegetação nativa.

A caracterização da área quanto aos fatores que estão relacionados aos processos de dinâmica fluvial, integrados por meio de álgebra de mapas, permitiu verificar a ocorrência de áreas na bacia onde ocorre a potencialização destes processos de instabilidade.

O mapa de instabilidade hierarquizou a bacia do Rio Santo Anastácio onde ocorreu predomínio de instabilidade baixa seguida pela média, devendo tal característica ser considerada no planejamento ambiental e nos planos de uso e ocupação do solo.

Ao assumir que as características do corpo d'água são reflexos dos processos e condições verificadas na bacia, as ferramentas de geoprocessamento mostraram-se eficientes na análise de determinados aspectos que podem influenciar as condições do corpo d'água em principal o método AHP que apresentou resultado mais eficiente.

REFERÊNCIAS

CHARLTON, R. **The fundamentals of fluvial geomorphology**. New York, Taylor & Francis Group, 2008.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: Edgard Blucher: FAPESP, 1981.

DIBIESO, E. P. **Planejamento ambiental da bacia hidrográfica do córrego do Cedro – Presidente Prudente/SP**. Presidente Prudente, Dissertação (Mestrado em Geografia) – UNESP, Faculdade de Ciência e Tecnologia, Presidente Prudente, 2007.

GONÇALVES, F.; ROCHA, P.C.; FERREIRA, C.C. **Uso e ocupação da terra e suas influências em parâmetros químicos e físicos da água da bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio, Oeste Paulista**. In: Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, Curitiba, PR, 2011, p.1252.

GONÇALVES, F. **Interações entre o ambiente físico, uso e cobertura da terra e as características físicas e químicas no canal fluvial: a bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio, Oeste Paulista**. Presidente Prudente, Dissertação (Mestrado em Geografia) – UNESP, Faculdade de Ciência e Tecnologia, Presidente Prudente, 2011.

HESPANHOL, I. **Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos**. *Estud. Av.* [online], vol.22, n.63, pp. 131-158, 2008.

ROSS, J. L. S. **Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados**. *Revista do Departamento de Geografia*. n.8, p.63-74. 1994.

ROSS, J. L. S. *et al.* **Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia, INPE, p.16-21.

SALVADOR, C.J.; LEAL, A.C. **Mapeamento de risco ambiental e planejamento participativo no manancial rio Santo Anastácio – UGRHI Pontal do Paranapanema – São Paulo**. In: *Revista Geonorte*, Edição especial, V.3, N.4, 2012.