

## **FRAGILIDADE AMBIENTAL E PERDA DE SOLO EM UMA MICROBACIA HIDROGRÁFICA NO PLANALTO DOS GUIMARÃES EM MATO GROSSO**

Environmental fragility and soil loss in a watershed in the guimarães plateau at the Mato Grosso

Fragilité environnementale et la perte de sol dans un bassin du plateaux dos guimarães dans le Mato Grosso

Vanderley Severino dos Santos  
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Mato Grosso  
[rovander@gmail.com](mailto:rovander@gmail.com)

Reinaldo Lorandi  
Universidade Federal de São Carlos  
[lorandir@gmail.com](mailto:lorandir@gmail.com)

### **Resumo**

A ocupação de áreas de Cerrado para a expansão das atividades agropecuárias levou à ocupação de solos sem considerar a sua aptidão natural. Em geral, esses solos apresentam elevada fragilidade. Com a intenção de contribuir com estudos que levam a compreender os processos erosivos e identificam os riscos ambientais, este trabalho apresenta cartas temáticas que demonstram a fragilidade potencial e emergente na bacia hidrográfica dos córregos Amaral e Brilhante, em Jaciara - MT - Brasil. Os materiais utilizados foram: mapa de solos na escala 1:50.000, dados altimétricos da missão espacial denominada Shuttle Radar Topography Mission; imagens de satélites e dados pluviométricos. A metodologia permite, por meio de geoprocessamento, determinar e mapear a fragilidade ambiental das unidades ecodinâmicas através de cruzamento e análise de cartas com informações de cobertura vegetal e uso da terra, do relevo, erodibilidade dos solos e erosividade das chuvas. Os resultados mostram o predomínio de áreas de média e alta fragilidade potencial com elevadas perdas de solos, ou seja, predomina no local, terrenos com problemas complexos de conservação. Os resultados indicam também que as técnicas de geoprocessamento proporcionam inúmeros recursos de análise espacial, confirmando-se como ferramentas úteis na determinação da fragilidade ambiental de bacias hidrográficas.

**Palavras-chave:** Geomorfologia, Análise ambiental, álgebra de mapas, erosão.

### **Abstract**

The occupation of the Savanna forest due to the expansion of agricultural activities led to the occupation of soils without considering its natural aptitude. In general, these soils are very fragile. The purpose of this work is to better understand erosion processes and identify environmental risks by producing thematic maps of potential and emergent fragility at the Amaral and Brilhante basins in Jaciara – MT – Brazil. For doing so, we have used the following data: a 1:50.000 scale soil map, altimetry data from the Shuttle Radar Topography Mission, remote sensing images and pluviometry data. The methodology uses geoprocessing tools to identify and map environmental fragility of the agriculture areas by combining the following factors: relief, soil erodibility, erosivity and land use and vegetation cover. The results show the predominance of areas with medium to high potential fragility and severe soil loss, i.e., the prevailing soils have complex conservation issues. The results also indicate that geoprocessing techniques provide several spatial analysis tools, reassuring their potential for determining the environmental fragility of watersheds.

**Keywords:** Geomorfology, Environmental analysis, map algebra, erosion.

### **Résumé**

L'occupation des zones du Savane pour l'expansion des activités agricoles a conduit à l'occupation des terres sans tenir compte de votre aptitude naturelle. En général, ces sols ont une vaste fragilité. Entendant contribuer aux études qui mènent à la compréhension des processus érosifs et identifier les risques environnementaux, ce document présente des cartes thématiques montrant de la fragilité potentielle et émergents du bassin des cours d'eau Amaral et Brilhante dans Jaciara - MT - Brasil. Les matériaux utilisés sont les suivants: carte du sol à échelle 1: 50.000, données altimétriques disponible dans la base de données SRTM (Shuttle Radar Topography Mission); Images de télédétection et données pluviométriques. La méthodologie permet, par le biais géotraitement, déterminer et cartographier la fragilité environnementale des unités en croisant et l'analyse des lettres avec la couverture végétale et information sur l'utilisation des terres, soulagement, érodabilité du sol et érosivité des pluies. Les résultats montrent la prédominance des moyennes et zones à fort potentiel et la fragilité et une vaste perte de sol, par exemple, est majoritaire sur le site, la terre des questions complexes de conservation. Les résultats indiquent également que les techniques SIG offrent de nombreuses capacités d'analyse spatiale, il est confirmé comme des outils utiles pour déterminer la fragilité de l'environnement des bassins versants.

**Mots-clés:** Géomorphologie, Analyse environnementale, algèbre de carte, érosion.

### **Introdução**

O modelo de produção empregado no curso da história gerou escassez e esgotamento dos recursos naturais, trazendo danos à sustentabilidade do planeta. Segundo Santos e Ross (2012) a ocupação e exploração desordenada do território provocaram alterações marcantes na paisagem terrestre.

O crescimento da economia mundial exige cada vez mais insumos provenientes da natureza, que leva a depredação dos recursos naturais, comprometendo os ecossistemas, tornando assim, necessário adotar atitudes que promovam o crescimento econômico

compatibilizado com o desenvolvimento humano e com atitudes de conservação ambiental. Segundo Oquendo et al. (2009) o estágio de degradação ambiental despertou e revelou a realidade de um planeta limitado e desgastado pelas sociedades que o habitam e o exploraram intensamente.

A interdependência econômica entre as nações estabelecida a partir da consolidação do capitalismo trouxe como consequência, entre outras, o aumento das desigualdades entre países pobres e ricos. Nos países subdesenvolvidos este modelo, caracterizado pela importação de tecnologias e capitais e exportação de produtos primários, gerou inúmeros problemas sociais e ambientais. Esta divisão estimulou a apropriação e a exploração dos recursos naturais sem planejamento adequado, gerando ao longo dos anos altos níveis de degradação ambiental.

Em Mato Grosso, os problemas ambientais são evidentes. As principais causas são a expansão das atividades que visam principalmente o atendimento do mercado externo, como exemplo, o cultivo da soja, do algodão e também a pecuária. Essas atividades, mais o cultivo da cana para produção de açúcar e do álcool visando o abastecimento do mercado interno, provocaram a ocupação de grandes áreas e, possivelmente causaram impactos com graves consequências para ambientes naturalmente frágeis.

Nesse contexto, a bacia hidrográfica formada pelos córregos Amaral e Brilhante em Jaciara-MT, foi escolhida para este estudo, pelo fato de possuir uma série de limitações, entre as quais: solos de alta suscetibilidade à erosão; elevada intensidade das chuvas e possível emprego de técnicas de manejo inadequadas para a região.

Conhecer as fragilidades e potencialidades dos ambientes é de extrema importância ao planejamento ambiental/territorial (SOARES, SOUZA e JERSZURKI, 2011). A metodologia de investigação da fragilidade ambiental tem como finalidade fornecer uma análise dos componentes ambientais de forma integrada (SANTOS e ROSS, 2012).

Segundo Almeida et al. (2009) entende-se por fragilidade ambiental a suscetibilidade do meio ambiente a qualquer dano causado pela ação humana. Então, quanto mais frágil o ambiente, maior dificuldade este encontrará para se recompor e voltar às condições que apresentava anteriormente a uma suposta alteração antrópica, ou também por catástrofes naturais.

As intervenções cada dia mais intensas no ambiente visando o atendimento das necessidades de sobrevivência humana e de acumulação capitalista, podem ser mais

devastadoras na medida em que o ambiente apresente maior fragilidade. Certamente a fragilidade é uma consequência das características do meio físico que compõe o ambiente. Segundo Ross (1994; 2001), as fragilidades e potencialidades devem ser avaliadas quando se pretende aplicá-las ao planejamento ambiental e, para isso, ele desenvolveu uma metodologia denominada de análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais, baseando-se nos conceitos de unidades ecodinâmicas estáveis e instáveis propostos por Tricart (1977).

Ross (1994; 2001) definiu as unidades ecodinâmicas estáveis ou de instabilidade potencial como aquelas áreas poupadas ou protegidas da ação humana, portanto, mantidas em condições próximas ao seu estado natural, porém, possuem uma instabilidade potencial que pode ocorrer diante da possibilidade de uma futura intervenção humana. Também definiu as unidades ecodinâmicas instáveis ou de instabilidade emergente, como aquelas áreas que já sofreram modificações pela ação humana.

Desta forma, Ross (1994; 2001) atribuiu critérios para identificar as características do meio físico nas unidades ecodinâmicas estáveis e instáveis em diferentes graus de fragilidade, bem como, recomenda quantificar as perdas de solos nessas unidades. Os componentes necessários para determinar e analisar a fragilidade dos ambientes são informações técnicas e cartográficas sobre: relevo, solo, erosividade e uso da terra e cobertura vegetal natural.

Assim, o presente estudo objetivou aplicar a metodologia de análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais para determinar e analisar a fragilidade ambiental e as perdas de solos nas unidades ecodinâmicas de instabilidade potencial e emergente em uma bacia hidrográfica no Planalto dos Guimarães em Mato Grosso – Brasil.

### **Materiais e métodos**

Área de estudo está localizada entre as coordenadas geográficas 15,78°S a 16,00°S e 55,03°W a 55,33°W em Jaciara, Mato Grosso - Brasil, abrange as microbacias dos Córregos Amaral e Brilhante, tributários do Rio Tenente Amaral, afluente do Rio São Lourenço, integrante da bacia do rio Cuiabá que por sua vez está inserido na bacia do Paraguai/Paraná (Figura 1).

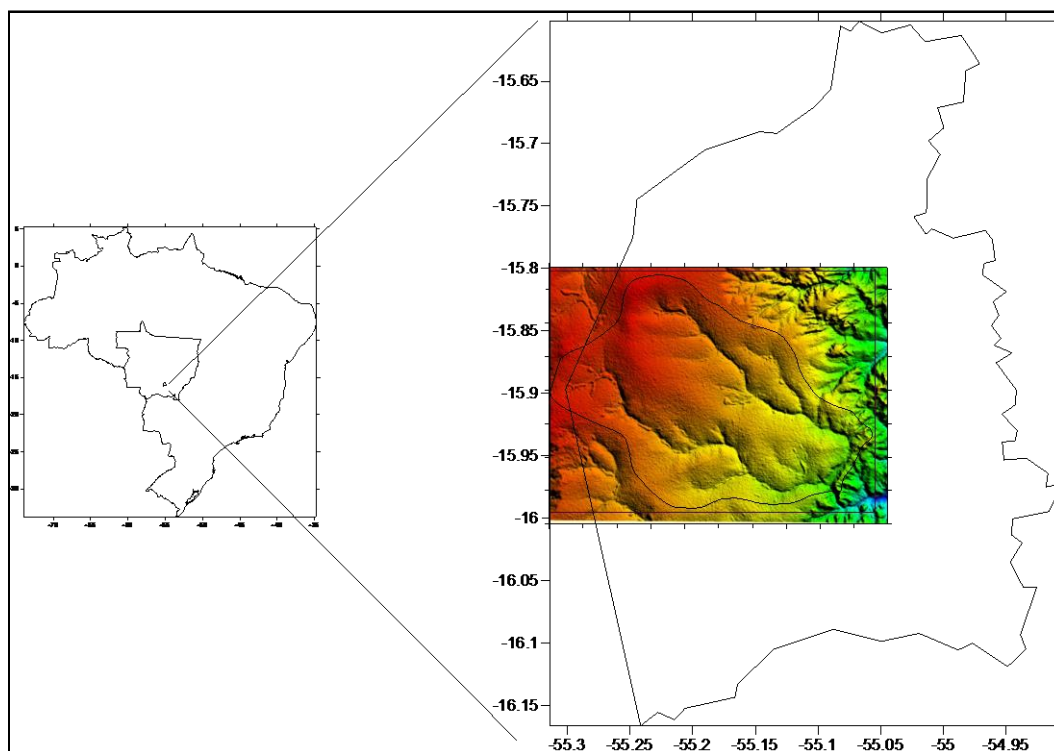
Na área são encontrados Latossolos, Neossolos Quartzarênicos, Plintossolos e Gleissolos. As formações Savânicas dos tipos Arborizada; Florestada; Parque e Gramíneo-Lenhosa e

formações Florestais do tipo Estacional Semidecidual; Hidrófila e de Galeria compõem a vegetação local.

O relevo local pertence às Unidades Geomorfológicas Planalto e Chapada dos Guimarães, com altitude variando de 400 m a 800 m. O substrato rochoso da área de estudo é composto pelas Formações Furnas, Ponta Grossa e Cachoeirinha.

Conforme os critérios de classificação climática propostos por Wilhelm Köppen, o local apresenta clima tropical chuvoso de savana (Aw). A média térmica anual na região é de 22° C e a média anual das precipitações variam de 1.500 mm a 1.750 mm, de setembro a abril ocorre a estação chuvosa, e de maio até o final de agosto a estação das secas (NIMER, 1989).

A carta de fragilidade ambiental é produto da integração, das cartas clinográficas (para estudos em escalas iguais ou maiores que 1:25.000) ou de dissecação do relevo (para estudos em escalas médias e pequenas); de solos; de informações pluviiais e do tipo de proteção que o solo possui em função do uso e cobertura.



**Figura 1** – Localização da Bacia Hidrográfica dos Córregos Amaral e Brilhante (BHCAB) no município de Jaciara, Mato Grosso – Brasil.

Para elaborar e ou preparar as cartas de fragilidade ambiental, foram utilizados dados de observações meteorológicas, relatórios e mapas pedológicos, carta topográfica (SD-21-Z-DIV-4), imagens do sensor Landsat-8 e dados do Shuttle Radar Topography Mission

(SRTM), ambos com resolução de 30 metros e baixados do site do U.S. Department of the Interior U.S. Geological Survey (<https://earthexplorer.usgs.gov/>).

A carta com o índice de dissecação do relevo foi elaborada da seguinte forma: inicialmente, sobre a carta topográfica (digital) a bacia foi subdividida em sub-bacias delimitadas conforme Sperling (2007), em seguida, foi criado um arquivo no formato shapefile com essa delimitação. Posteriormente, foram efetuadas cinco medidas espaçadas regularmente ao longo de cada sub-bacia e calculado a média da dimensão interfluvial. Da mesma forma, o entalhamento médio dos vales fluviais, foi determinado através do perfil topográfico traçado e medido sobre o modelo digital de elevação (DEM) em cinco diferentes posições em cada sub-bacia.

As imagens do satélite Landsat 8, os dados SRTM e a rede de drenagem e o perímetro da bacia e subbacias sobrepostos foram utilizados para orientar e efetuar a extração das medidas. Esta carta foi produzida utilizando as dimensões e relacionamentos adotados na matriz com as classes de fragilidade e respectivos índices de dissecação do relevo apresentada por Spörl (2001).

O mapa pedológico da área produzido e publicado na escala 1:50.000 por FEMA (1999) foi convertido para o formato digital. Neste mapa as classes de solos foram correlacionadas às classes de fragilidade ambiental, as quais foram estabelecidas em função da erodibilidade dos diferentes tipos de solos frente à ação do escoamento das águas pluviais conforme indicado na Tabela 1.

Os dados de precipitações de onze pluviômetros instalados na área e cedidos pela Usina Pantanal e dados de uma estação do Instituto Nacional de Meteorologia (Estação São Vicente) foram usados para estimar a erosividade média mensal com a aplicação da equação (1) conforme indicado em Bertoni e Lombardi Neto (2012):

$$\mathbf{R = 67,355 (r^2 / P)^{0,85}} \qquad \text{eq. 01}$$

Onde: R = Erosividade da chuva; r = Precipitação média mensal (mm); P = Precipitação média anual (mm).

A partir da interpolação (média ponderada pela distância) as médias mensais de erosividade da bacia foram espacializadas. Com a soma das doze cartas de erosividade média mensal gerou a carta com a média anual de erosividade da bacia. Esta carta

apresenta valores de erosividade expressos em MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> (MJ = megajoule, mm = milímetro, ha = hectare e h = hora) classificados conforme indica a Tabela 1.

**Tabela 1** – Classes de fragilidade ambiental dos solos\* e do fator erosividade\*\*

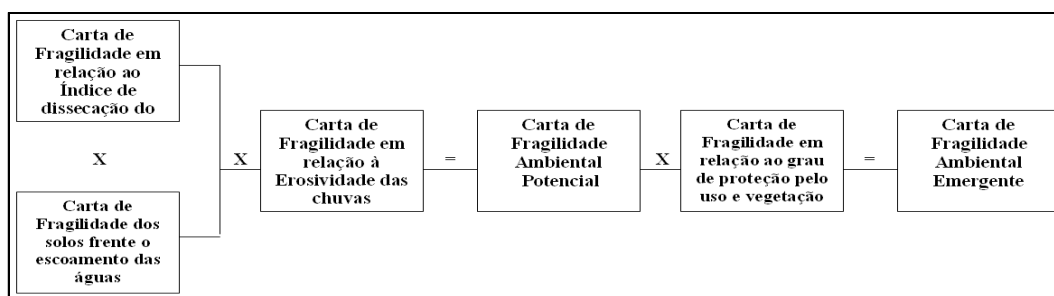
Classes de Fragilidade	Classes de solos	Erosividade das chuvas MJ mm ano <sup>-1</sup> ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup>
1 Muito Baixa	LATOSSOLOS VERMELHOS LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELOS de textura argilosa	≤ 2.452 (Fraca)
2 Baixa	LATOSSOLOS VERMELHOS LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELOS de textura média/argilosa	2.452 a 4.905 (Média)
3 Média	LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELOS, ARGISSOLOS, NITOSSOLOS, ALISSOLOS de textura média argilosa PLINTOSSOLOS	4.905 a 7.357 (Média a Forte)
4 Forte	LUVISSOLOS, ARGISSOLOS, NITOSSOLOS, CAMBISSOLOS	7.357 a 9.810 (Forte)
5 Muito Forte	ARGISSOLOS, LUVISSOLOS, ALISSOLOS, NEOSSOLOS LITÓLICOS, NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS	> 9.810 (Muito Forte)

\*Fonte: adaptado de ROSS, 1994, 2001 e 2004.

\*\*Fonte: Adaptado de Carvalho (1994).

A carta de vegetação, uso e ocupação das terras, foi elaborada usando imagens do Landsat 8, bandas 6, 5 e 4, obtidas em março de 2016 e classificadas no aplicativo Geographic Data Mining Analyst, GeoDMA, que segundo Korting et al. (2008) constitui-se em um sistema de mineração de dados espaciais. As classes de uso adotadas correspondem às informações referentes ao grau de proteção propiciado pelos diferentes tipos de cobertura listados na Tabela 2.

Na etapa seguinte, foi efetuado o cruzamento matricial entre essas cartas conforme indicado no roteiro metodológico (Figura 2), que ilustra a sequência desses cruzamentos para a obtenção das cartas de Fragilidade Ambiental Potencial e Fragilidade Emergente da bacia.



**Figura 2** – Roteiro para produção das cartas de Fragilidade Ambiental Potencial e Emergente.

O primeiro cruzamento matricial foi realizado entre a carta de fragilidade do índice de dissecação relevo com a carta de fragilidade dos solos. A carta resultante também foi cruzada com a ‘carta de erosividade’, resultando na ‘Carta de Fragilidade Potencial’.

Em seguida, efetuou-se o cruzamento entre a carta de fragilidade potencial com a carta de fragilidade referente ao grau de proteção dado pela cobertura e, assim, obteve-se a carta de ‘Fragilidade Ambiental Emergente’.

**Tabela 2** - Grau de proteção, Classes de Fragilidade e tipo de cobertura.

Graus de Proteção Classes de Fragilidade	Tipos de Cobertura Vegetal
Muito Baixo	Desmatamentos e queimadas recentes, solo exposto em área agrícola, solo exposto em vias, terraplanagens, culturas de ciclo curto sem práticas conservacionistas.
Muito Forte	
Baixo	Culturas de densidade baixa e longo ciclo (pimenta do reino, laranja e café) em solo exposto entre fileiras, culturas de ciclo curto (algodão, arroz, soja, feijão, milho e trigo,) cultivados em nível e ou terraceamento.
Forte	
Médio	Cultivo de ciclo longo em nível e ou terraceamento (café, laranja com forrageiras entre filas, pastagem de baixo pisoteio, silvicultura com eucaliptos em sub-bosque de nativas).
Média	
Alto	Formações arbustivas naturais densas, formações arbustivas densas (cerrado, mata secundária, capoeira). Mata homogênea de pinus densa, pastagens cultivadas com baixo pisoteio, cultivo de ciclo longo (ex. cacau).
Fraca	
Muito Alto	Florestas, matas naturais e florestas com biodiversidade de espécies.
Muito Fraca	

Fonte: Adaptado de Ross (1994).

As cartas produzidas tiveram suas respectivas feições identificadas e relacionadas em classes de fragilidades conforme proposta metodológica de Ross (1994, 2001 e 2004) as quais, foram estabelecidas conforme indicado na Tabela 3. Da mesma maneira após cada



cruzamento entre duas cartas um valor numérico equivalente também foi atribuído a cada classe de fragilidade resultante.

**Tabela 3** – Matriz de decisão das classes de fragilidade ambiental.

Classes de fragilidade resultante	Relacionamento entre as cartas
Muito Fraca (1)	1x1
Fraca (2)	2x1, 2x2, 1x2
Média (3)	3x1, 3x2, 3x3, 2x3, 1x3
Forte (4)	4x1, 4x2, 4x3, 4x4, 3x4, 2x4, 1x4
Muito Forte (5)	5x1, 5x2, 5x3, 5x4, 5x5, 4x5, 3x5, 2x5, 1x5

Fonte: Ross, 1994 e 2004.

Ross (1994) recomenda quantificar as perdas de solos nas áreas onde a cobertura vegetal natural foi supostamente mantida (Unidade Ecodinâmica de Instabilidade Potencial - UEIP), bem como, nas áreas que sofreram alteração pela ação humana (Unidade Ecodinâmica de Instabilidade Emergente - UEIE), para isto aplica-se a Equação Universal de Perdas de Solos.

Desta forma, com a finalidade de estimar as perdas de solos, seguindo os mesmos procedimento descritos por Fiorio et al. (2016), foi elaborada uma carta com a estimativa de perdas médias de solos da bacia. Por meio de sobreposição no SIG foi calculado os valores de perdas de solos das Unidades Ecodinâmicas.

Todas as cartas apresentadas neste trabalho foram produzidas no editor de impressão do software QGIS, ajustadas ao sistema de referência cartográfico SIRGAS2000, projetadas conforme o sistema Universal Transverso de Mercator - Fuso 21 sul (UTM 21S).

### **Resultados e discussões**

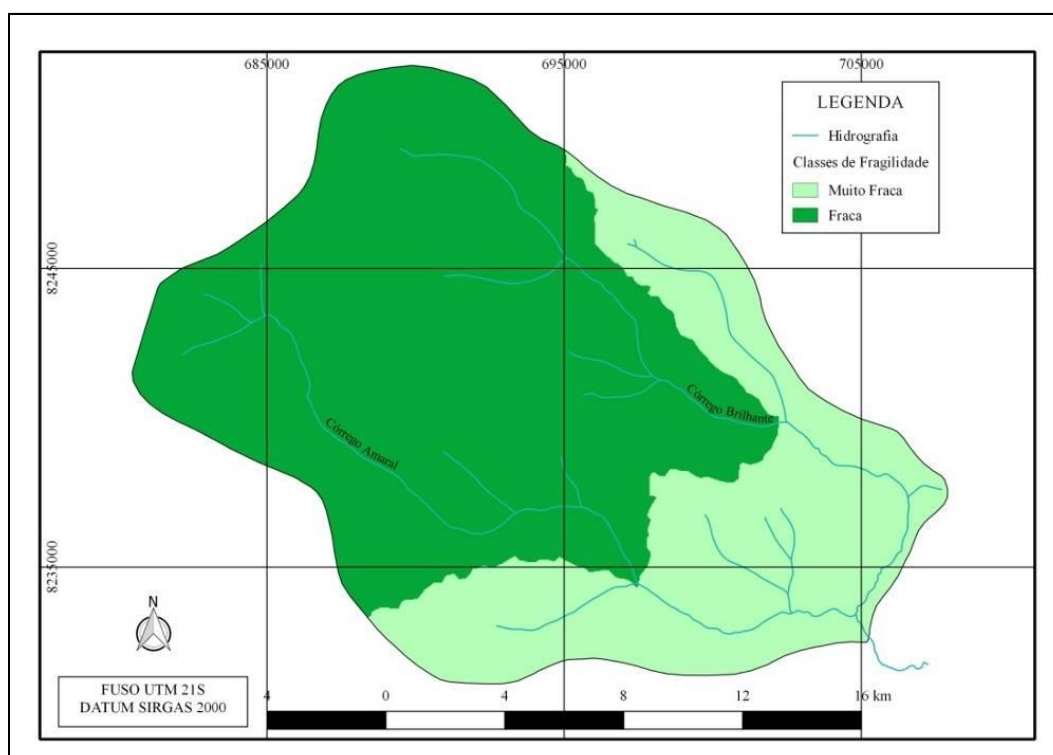
De acordo com Ross (1994) quando o mapeamento dos atributos do meio físico é apresentado em escalas médias a pequenas, a carta de fragilidade do índice de dissecação do relevo é o produto cartográfico indicado para ser usado na determinação da fragilidade ambiental. Para trabalhos produzidos em escalas maiores que 1:50.000 a opção indicada são as informações cartográficas das formas das vertentes e ou das classes de declividades. Na carta de fragilidade do índice de dissecação do relevo (Figura 3) apurou-se a ocorrência apenas duas classes de fragilidade na bacia (muito fraca e fraca).

Nas áreas situadas do centro em direção ao limite oeste da bacia o índice de dissecação do relevo apresenta fragilidade fraca (Figura 3), a altitude varia de 545m a 857m, as vertentes

são longas, os entalhamentos dos vales medem entre 40m a 80m, os interflúvios são amplos, superam 4.000 metros, a densidade de drenagem é baixa, entre 0,33 a 0,44 km/km<sup>2</sup> e predomina relevo suavemente ondulado em formas com topos tabulares, porém, também ocorrem formas com topos levemente convexos.

Locais com interflúvios amplos apresentam menor predisposição à evolução de processos erosivos, afirmam Messias et al. (2012), significando ocorrência de relevo pouco dissecado, solos mais resistentes, ou seja, fragilidade muito fraca. Entretanto, os valores médios de aprofundamento dos canais fluviais, entre 40m a 80m, observados no setor oeste da bacia é quem determinaram nível de fragilidade fraca a esse setor da bacia (Figura 3).

No caso dos setores nordeste, leste e sul da bacia a fragilidade em relação ao índice de dissecção foi classificada como muito fraca (Figura 3). Nesses locais, os interflúvios apresentam dimensões de 1000m a 2200m e os entalhes dos vales inferiores a 30 metros e densidade de drenagem variando de 0,27 a 0,80 km/km<sup>2</sup>. As altitudes, nessas áreas, variam entre 332m a 774m.



**Figura 3** - Fragilidade Ambiental do índice de dissecção do relevo.

Nos locais de fragilidade muito fraca, verificou-se formas de relevo em colinas ligeiramente convexas e em topos tabulares. Estas constatações indicam o predomínio de superfícies com inclinações leves nesses locais, portanto, presume-se que sejam mais estáveis aos processos de perdas de solos. Entretanto, verifica-se a existência de atividade antrópica intensa inclusive com mecanização agrícola, que segundo Cessa e Soares (2013) é motivo frequente de preocupação social.

A Tabela 4 contém a soma das áreas ocupadas por classe, nela verifica-se o predomínio classe de fragilidade ‘fraca’ para o de índice de dissecação do relevo, ocupando 65,94% ou 223,93 km<sup>2</sup> da área total da Bacia. Nesses locais, há maiores possibilidades de escoamento superficial, a erosão trabalha mais intensamente em relação às outras áreas da bacia. Apenas 34,06% ou 115,63km<sup>2</sup> da área total da bacia apresenta fragilidade ‘muito fraca’ para o referido índice.

Na produção da ‘carta de classes de fragilidade dos solos’ são consideradas as suas características físicas e químicas, expressas em termos de erodibilidade, bem como, o seu comportamento frente ao escoamento superficial das águas das chuvas. Nessa carta observa-se que as classes de fragilidade ‘muito fraca’ e ‘muito forte’ ocupam maior área (Figura 4).

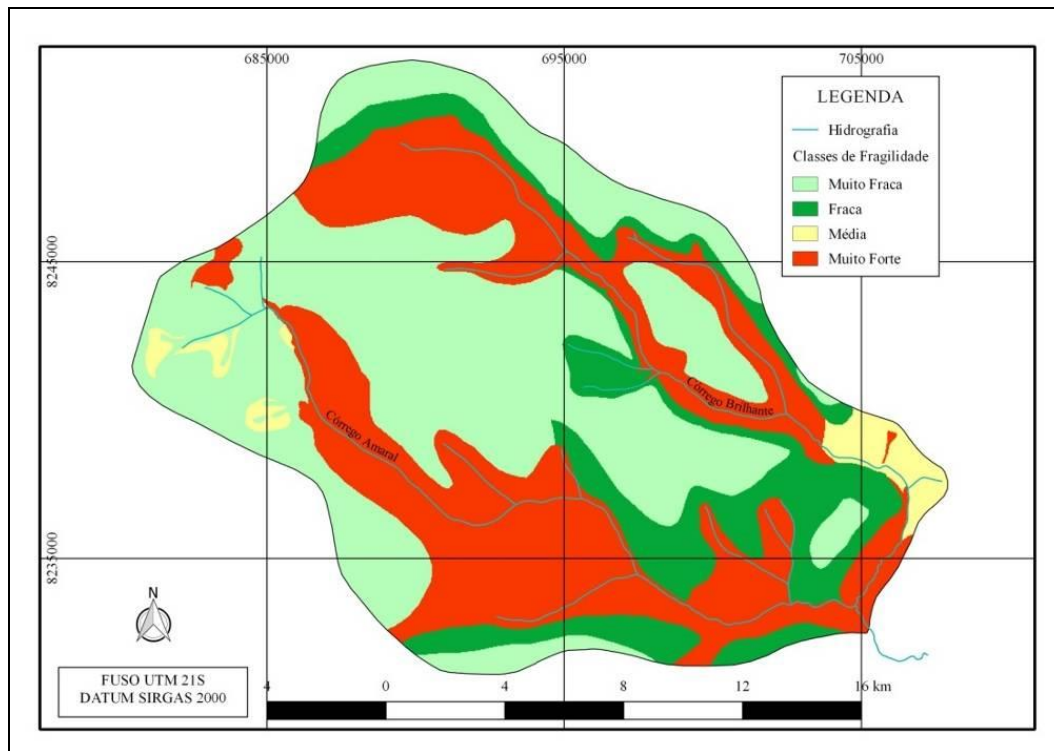
Os solos de fragilidade ‘muito fraca’ ocupam 154,69km<sup>2</sup> da área, o equivalente a 45,56%, enquanto os de fragilidade ‘fraca’ ocupam 53,13 km<sup>2</sup>, correspondendo a 15,64% da área total da bacia, ou seja, juntos ocupam 61,20% da área total da bacia, são solos do tipo LATOSSOLO VERMELHO AMARELO com textura média a argilosa e são poucos sujeitos a erosão natural e em geral apresentam média a boa aptidão agrícola (Tabela 4).

**Tabela 4** - Área ocupada em km<sup>2</sup> e percentual das classes de fragilidade do índice de dissecação do relevo, dos solos, da erosividade das chuvas e classe de Fragilidade Ambiental Potencial.

Tema	Classes de Fragilidade ambiental	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
Índice de dissecação do relevo	Muito Fraca	115,63	34,06
	Fraca	223,93	65,94
	Total	339,56	100,00
Solos	Muito Fraca	154,69	45,56
	Fraca	53,13	15,64
	Média	10,57	3,12
	Muito Forte	121,17	35,68
	Total	339,56	100,00
Erosividade	Média	70,96	20,90
	Forte	268,60	79,10
	Total	339,56	100,00
Fragilidade ambiental Potencial	Média	43,56	12,83
	Forte	174,83	51,49
	Muito Forte	121,17	35,68
	Total	339,56	100,00

Próximo a nascente do córrego Amaral (setor oeste) e no extremo leste da bacia aparecem os solos de classe de fragilidade ‘média’ (Figura 4), ocupam 3,12% ou 10,57 km<sup>2</sup> da BHCAB (Tabela 4). Estas áreas estão associadas aos solos denominados PLINTOSSOLOS que apresentam limitações relevantes em relação à suscetibilidade à erosão (GUERRA e BOTELHO, 2003), são de baixa fertilidade natural, apresentam elevada acidez e toxicidade por alumínio que, em muitos casos os tornam inaptos ou com aptidão restrita aos cultivos.

No interior da bacia não foi observada a ocorrência de solos de fragilidade ‘forte’. Os solos da classe de fragilidade ‘muito forte’ estão distribuídos ao longo dos dois córregos (Figura 4), ocupam aproximadamente 35,68% da área em 121,17km<sup>2</sup> (Tabela 4). Esta classe de fragilidade ocorre nos locais cujos solos são do tipo NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS. Estes solos não apresentam coesão entre partículas, característica que os tornam de grande suscetibilidade a erosão (VENTURIM e BAHIA, 2001).



**Figura 4** - Fragilidade dos solos diante do escoamento superficial das águas pluviais.

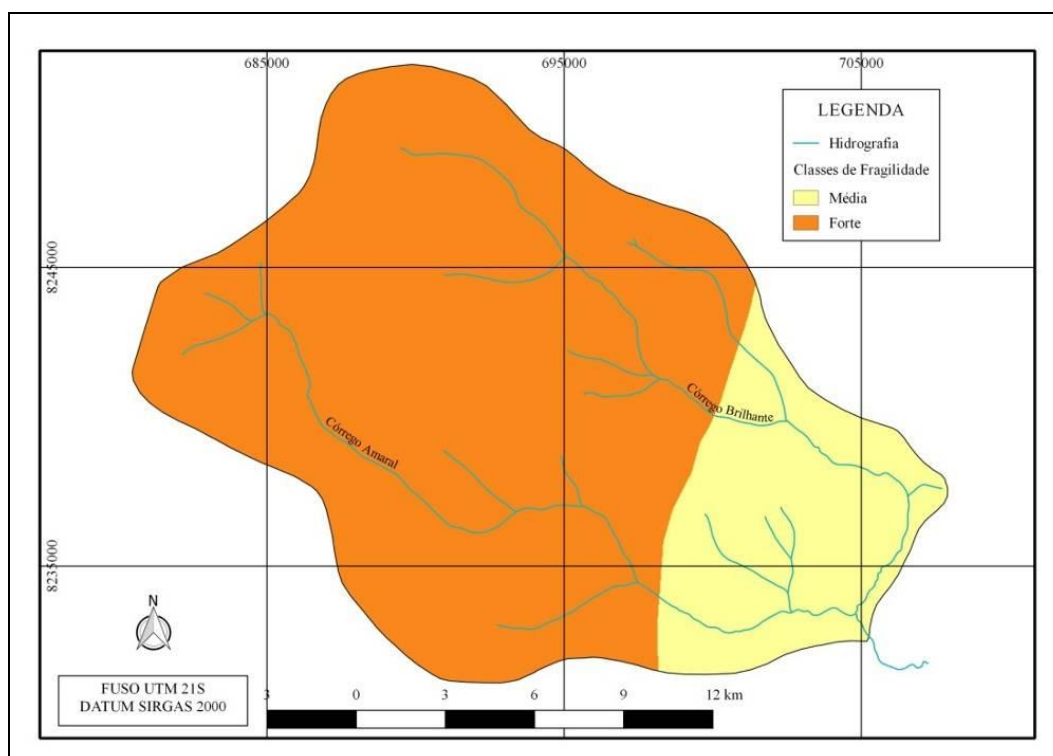
Os NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS, são de fácil degradação, apresentam baixa capacidade de troca de cátions (CTC) e retenção de umidade muito baixa. Portanto, são de elevada erodibilidade e requerem cuidados especiais no seu preparo visando à conservação da matéria orgânica, que é facilmente perdida em manejos inadequados durante o cultivo. Culturas perenes são mais recomendáveis nestes solos do que as anuais.

A distribuição e a intensidade das chuvas ao longo do ano são fatores decisivos no processo de intemperismo das rochas e solos, por este motivo são fundamentais para a análise da fragilidade ambiental, (SPÖRL, 2001). O conhecimento sobre a distribuição e intensidade pluviométrica auxilia na determinação da fragilidade, na escolha e na adoção de práticas de conservação de solos que sejam mais adequadas para a manutenção das boas condições do ambiente e para a produção agrícola.

A erosividade das chuvas, ou seja, a capacidade desta em provocar desprendimento e transporte de solo, teve a sua representação cartográfica utilizada para avaliar a influência do clima sobre o ambiente no presente estudo e encontra-se na Figura 5.

Verifica-se, na carta de classes de fragilidade em relação ao fator erosividade das chuvas (Figura 5), que na parte oeste e central da bacia 268,6km<sup>2</sup> ou 79,1% da área apresenta erosividade forte, a erosividade é entre 7.357 a 9.645 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> (MJ =

megajoule, mm = milímetro, ha = hectare e h = hora). No leste da bacia, 20,9% ou 70.96km<sup>2</sup> apresentam classe de fragilidade média, a erosividade varia de 5.996 a 7.357 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, (Tabela 4) neste setor.



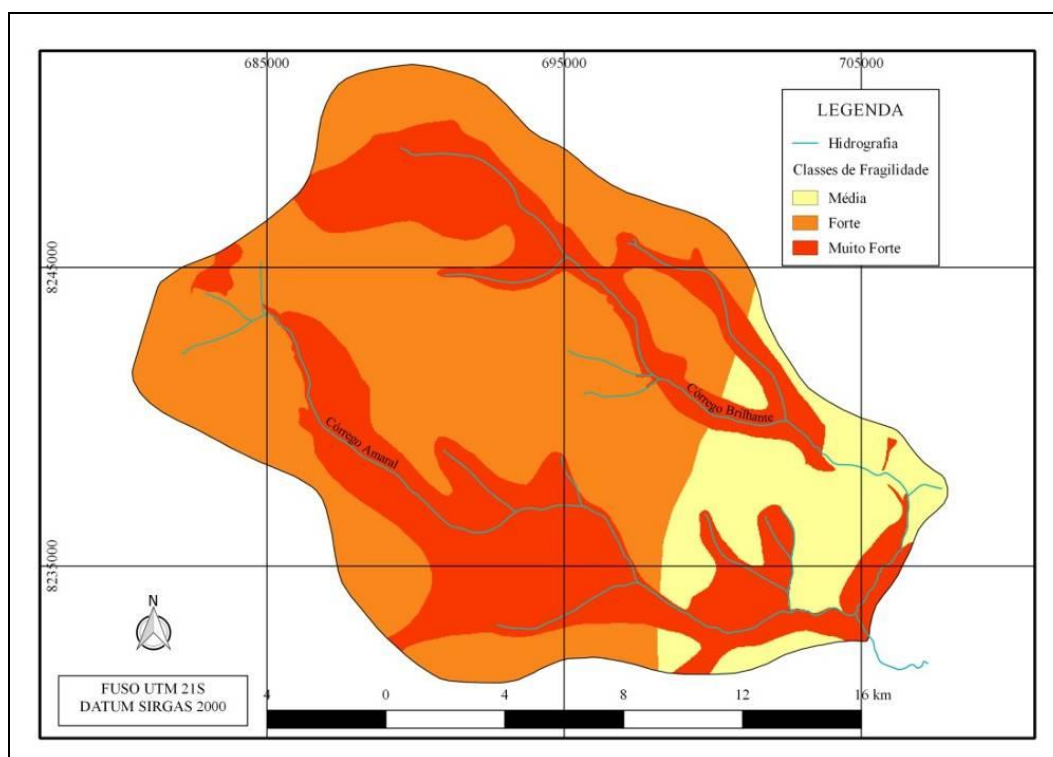
**Figura 5** - Fragilidade do fator Erosividade das chuvas.

Os valores de erosividade local são semelhantes aos valores de erosividade calculados por Moraes et al. (1991) que determinaram a erosividade das chuvas para duas localidades em Cáceres-MT, e encontraram valores médios próximos de 8.493 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>.

A fragilidade potencial é a fragilidade apresentada pelo ambiente considerando-se apenas os componentes naturais. A 'carta de fragilidade potencial' é resultado dos cruzamentos sucessivos entre as cartas dos fatores índice de dissecação do relevo, solos e erosividade (Figura 6).

A análise integrada dos elementos naturais da área, conforme os conceitos elaborados por Tricart (1977) indicam que, quanto ao equilíbrio dinâmico, o meio natural nessa bacia pode ser classificado como uma unidade de forte instabilidade a fortemente instável, pois há, conforme Tabela 5, o predomínio de áreas de classes de fragilidade 'forte' (51,49%) e 'muito forte' (35,68%) em 174,83km<sup>2</sup> e 121,17km<sup>2</sup> respectivamente. Esse resultado reflete principalmente a influência do tipo de solo (NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS), no

caso da classe de fragilidade potencial ‘muito forte’ e da erosividade no caso da classe de fragilidade potencial forte (Figura 6).



**Figura 6** - Fragilidade ambiental potencial.

As áreas de média fragilidade potencial estão limitadas ao setor leste da bacia (Figura 6), onde os solos em sua maioria apresentam relativa resistência à erosão, a erosividade é média e o índice de dissecação é fraco. A classe de fragilidade potencial ‘média’ ocupa apenas 43,56 km<sup>2</sup> que corresponde a 12,83 % da área total (Tabela 5).

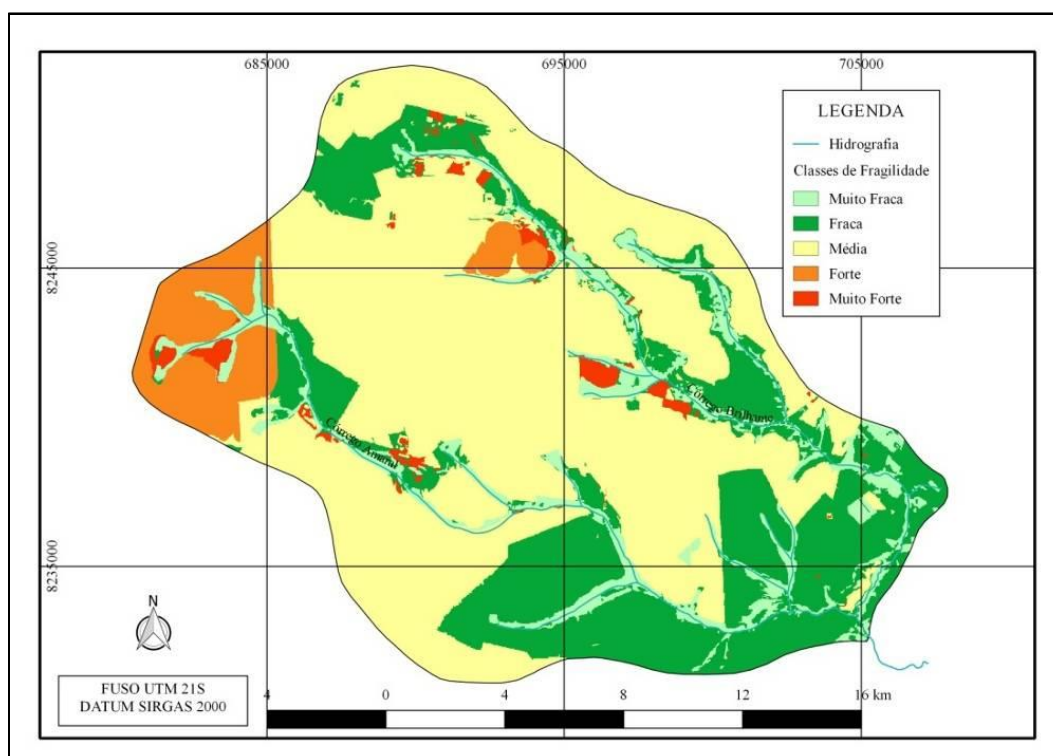
Os resultados mostrados na Figura 6 revelam a ocorrência de classes de fragilidade potencial ‘média’, ‘forte’ e ‘muito forte’, indicando que a área pode apresentar sérias restrições a diversos usos em função da elevada fragilidade potencial do ambiente local. Portanto, é importante considerar essas informações no reconhecimento da aptidão das terras do local. Cessa e Soares (2013) verificaram no município de Santa Terezinha (MT) potenciais de fragilidade ambiental entre médio e forte e recomendaram especial atenção ao uso a ser destinado.

Spörl e Ross (2004) aplicando a mesma metodologia encontraram, para uma área localizada na divisa entre os estados de São Paulo e Minas Gerais, quatro graus diferenciados de fragilidade com predomínio da classe de fragilidade potencial Média.

A carta com as classes de fragilidade em relação ao grau de proteção fornecido pela cobertura aos solos (Figura 7) sintetiza a os tipos de cobertura vegetal remanescente e os diferentes usos da terra que revelam as relações sócio-econômicas que ocorrem dentro da BHCAB.

Na Figura 7 verifica-se o predomínio no local de cultivos com espécies que fornecem médio grau de proteção ao solo, essas áreas de média fragilidade, estão distribuídas por 192,56km<sup>2</sup>, equivalendo a 56,71% do total da bacia (Tabela 6). São encontrados nesses locais, cultivos de cana-de-açúcar em curvas de nível, pastagens com baixo pisoteio e eucalipto.

Em consequência da intensa antropização que ocorre nesta bacia, verifica-se a existência de vegetação natural apenas nas margens dos córregos ou então em forma de pequenos fragmentos florestais dispersos pela bacia (Figura 7). Estas feições correspondem às unidades ecodinâmicas de instabilidade potencial (TRICART, 1977).



**Figura 7** - Fragilidade em relação ao Grau de Proteção proporcionado aos solos pela cobertura vegetal e formas de uso.

Os cultivos de ciclo longo, de fraca densidade com possibilidade de solo exposto entre fileiras e cultivos de ciclo curto mesmo quando cultivados com práticas conservacionistas são considerados cultivos que oferecem ‘baixo grau’ de proteção aos solos, portanto, são



áreas de classe fragilidade ‘forte’. Conforme verificado na Figura 7, essas áreas de fragilidade ‘forte’ localizam-se no extremo oeste da bacia, onde foi identificado o cultivo do algodão. Conforme consta na Tabela 6, essas áreas de fragilidade ‘forte’ ocupam 88,77km<sup>2</sup> ou 26,15% da área.

Os locais de classe de fragilidade ‘fraca’ e ‘muito fraca’ apresentam coberturas que oferecem alta proteção e ocupam 8,44% ou 28,62km<sup>2</sup> de toda a BHCAB (Tabela 6).

Queiroz Junior et al. (2014) verificaram que na Bacia da UHE Foz do Rio Claro (GO) as áreas de culturas aumentaram 6,63% principalmente pelo cultivo da cana-de-açúcar.

Consta na Tabela 6 uma área de 29,61km<sup>2</sup> que aparece classificada com fragilidade ‘muito forte’, ocupando 8,70% da bacia, que se referem às voçorocas, queimadas e solo exposto.

Após a integração/cruzamento das informações contida na ‘carta de fragilidade ambiental potencial’ e a ‘carta com o grau de proteção por tipo de cobertura vegetal e uso antrópico’ obteve-se um produto cartográfico convencionalmente citado como ‘Carta de Fragilidade Ambiental Emergente’.

**Tabela 6** - Área ocupada em km<sup>2</sup> e percentual referente a fragilidade e grau proteção

Cartas	Classe de Fragilidade (grau de proteção)	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
Carta de classes de Fragilidade em relação ao Grau de proteção da cobertura vegetal	Muito Forte (Muito baixa Proteção)	29,61	8,70
	Forte (Baixa Proteção)	88,77	26,15
	Média (Média Proteção)	192,56	56,71
	Fraca (Alta Proteção)	22,85	6,73
	Muito Fraca (Muito Alta Proteção)	5,77	1,71
	Total	339,56	100,00
Carta de classes de Fragilidade ambiental emergente	Média	43,53	12,82
	Forte	171,52	50,51
	Muito Forte	124,51	36,67
	Total	339,56	100,00

oferecida pela cobertura vegetal e classes de fragilidade ambiental emergente.

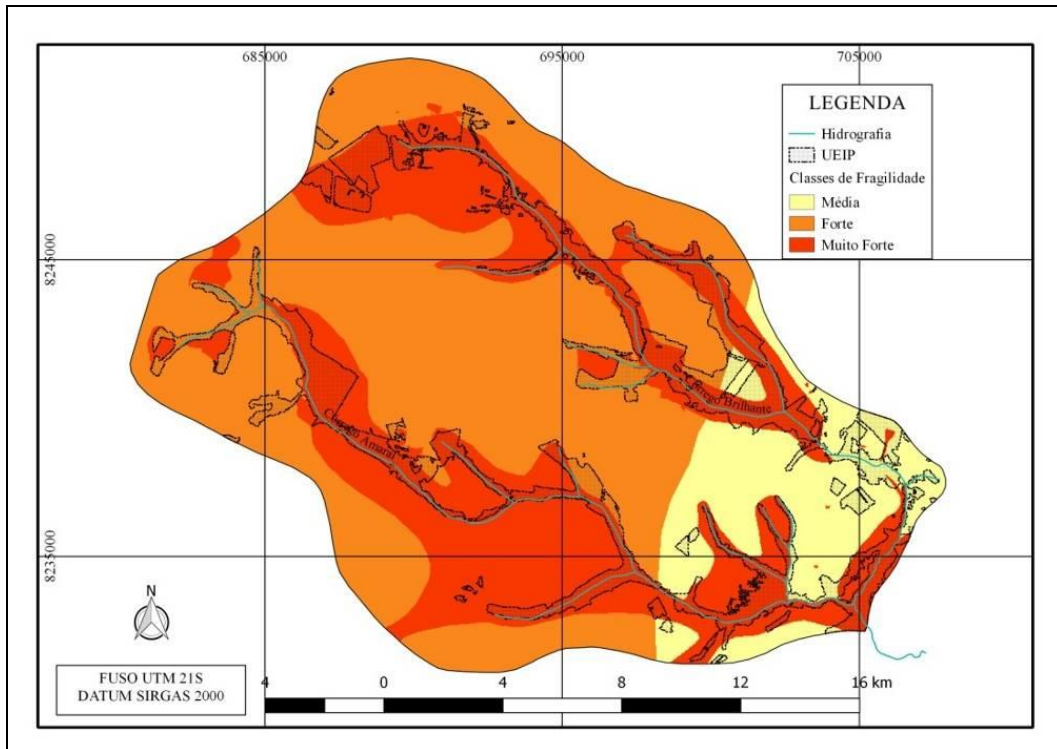
A ‘carta de fragilidade ambiental emergente’ permite identificar a ocorrência das classes de fragilidade ‘média’, ‘forte’ e ‘muito forte’ (Figura 8). Esta carta fornece um diagnóstico

da situação ambiental dentro das Unidades Ecodinâmicas. Portanto, torna-se fundamental na análise do ambiente, pois, fornece subsídios para a indicação de ações que visem melhorias nos padrões de uso agrícola nesta bacia. Para Pereira Neto e Fernandes (2015) trata-se de uma ferramenta singular para indicar alternativas ou restrições com relação ao processo de apropriação da paisagem.

Conforme os dados da Tabela 6, na carta de fragilidade ambiental emergente a classe 'forte' apresenta um ligeiro predomínio se comparada às demais classes, ocupa 171,52 km<sup>2</sup> ou 50,51% da área total da BHCAB, distribuindo-se principalmente em locais de LATOSSOLOS VERMELHO ESCUROS de textura argilosa sobre relevos em topos, nos segmentos superiores das vertentes e também em áreas cobertas por LATOSSOLOS VERMELHO AMARELOS argilosos, nos segmentos intermediários das vertentes (Figura 8).

As áreas detectadas como de classe de fragilidade ambiental emergente 'média' têm sua ocorrência restrita ao setor leste da bacia por causa da menor erosividade e o uso ser mais frequente na forma de pastagens. Esta classe de fragilidade está distribuída por 12,82% da área em 43,53 km<sup>2</sup> (Tabela 6).

As áreas onde há o predomínio dos NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS e relevos em formas convexas nos segmentos inferiores das vertentes foram determinadas como de classe fragilidade emergente 'muito forte', ocupam 36,67% em 124,51km<sup>2</sup>. As formas de uso nesses locais não interferiram negativamente. Fushita et al. (2010) também verificaram, que 80,32% da área de estudo no médio Mogi Guaçu (SP), a classe de alta fragilidade foi mais influenciada pelo fator solo, entre os quais, os NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS.



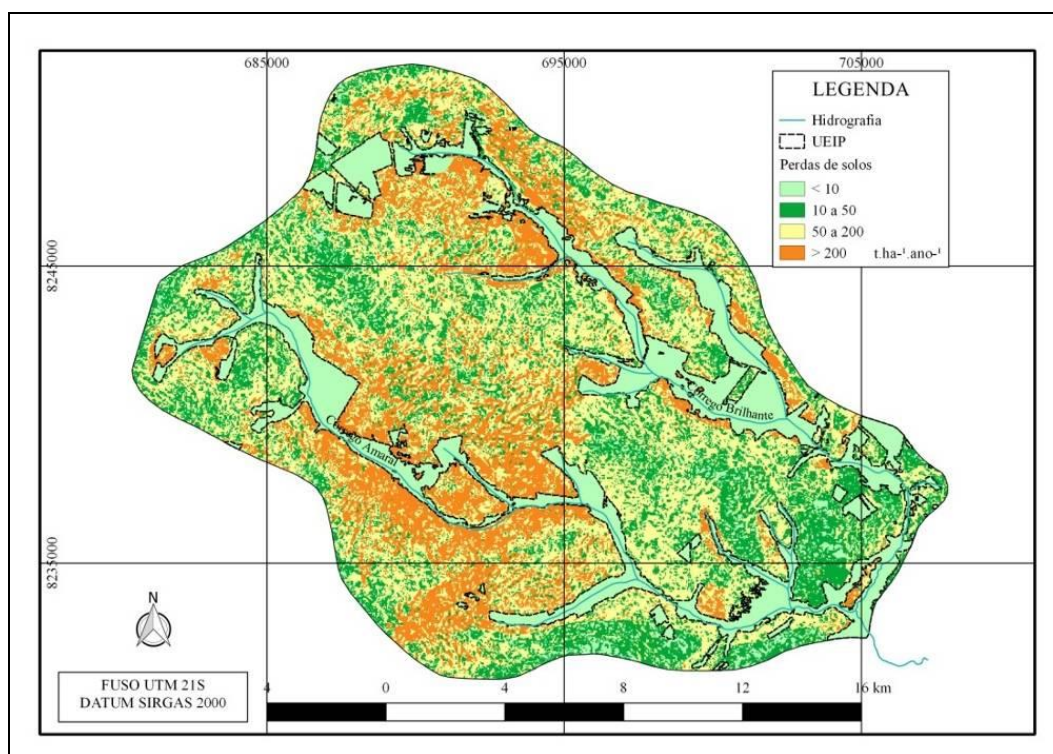
**Figura 8** – Fragilidade Ambiental Emergente.

A carta de fragilidade ambiental emergente revela os desequilíbrios nos componentes do meio físico provocado pela intervenção humana no ambiente. Ela retrata a condição atual em que se encontra o ambiente face aos desmatamentos e práticas econômicas diversas que faz emergir a instabilidade (Figura 8).

A semelhança entre as cartas de fragilidade potencial e emergente confirma a instabilidade intrínseca apresentada pelos elementos naturais e indica que as formas de uso do solo na BHCAB encontram-se compatíveis com a fragilidade e aptidão natural do local. Porém, este resultado não se constitui em um indicador de que a bacia está protegida da erosão, pois a fragilidade apresentada pelos elementos naturais requer alto grau de cobertura para proporcionar a devida proteção aos solos.

Na carta com a estimativa de perdas de solos é possível visualizar como estas perdas estão distribuídos espacialmente no interior da BHCAB (Figura 9). Nela verifica-se, que nas áreas onde a cobertura vegetal natural foi mantida (Unidade Ecodinâmica de Instabilidade Potencial - UEIP) as perdas de solos não superam 10 ( $t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ ), enquanto, nas áreas que sofreram alteração pela ação humana (Unidade Ecodinâmica de Instabilidade Emergente - UEIE) essas perdas podem superar 200 ( $t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ ). Oliveira, Seraphim e Borja (2015) também observaram na bacia de contribuição da microcentral hidrelétrica do

Lageado, perdas de solo inferiores a  $10 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  em áreas de mata/reflorestamento e as perdas maiores de  $200 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  aparecem associadas ao tipo de solo Neossolo Litólico.



**Figura 9** - Perdas médias de solos da BHCAB.

### Conclusões

As técnicas de geoprocessamento proporcionam inúmeros recursos de análise espacial, confirmando-se como ferramentas úteis na determinação da fragilidade ambiental de bacias hidrográficas.

Os resultados da carta da fragilidade potencial demonstram que 87,17% da área de estudo encontram-se naturalmente em condições de instabilidade ‘forte’ a ‘muito forte’. Na carta de fragilidade Emergente as classes ‘Muito Forte’ e ‘Forte’ predominam e ocupam 88.50% da área da bacia. Resultado que indicam que as formas de uso do solo na BHCAB são compatíveis com a fragilidade potencial e aptidão natural do local.

A metodologia de análise empírica da fragilidade permitiu avaliar de forma integrada os componentes naturais e antrópicos no local.

Nas áreas com cobertura vegetal as perdas de solos não superaram  $10 (\text{t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1})$  e são inferiores que as perdas verificadas nas áreas cultivadas.

## Referências

- ALMEIDA, L. de; SANTOS, L.J. C.; MARTINS, G. G. Contribuição metodológica para a análise da fragilidade emergente: estudo de caso no município de Colombo/PR. *RA'EGA*, Curitiba, n. 17, p. 113-127, 2009. In: <http://revistas.ufpr.br/raega/article/view/11017/10670>. <acesso em 30/07/2016>.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. *Conservação do solo*. São Paulo: Editora Ícone, 2012. p. (355).
- CARVALHO, N. de O. *Hidrossedimentologia prática*. Rio de Janeiro: Companhia de Pesquisa em Recursos minerais, 1994. p.(372).
- CESSA, R. M. A.; SOARES, M. H. Potencial de fragilidade ambiental no município de Santa Terezinha-MT identificado pela caracterização de áreas naturais e antropizadas. *Revista Agrogeoambiental*, v. 5, n. 3, 2013.
- FEMA. FUNDAÇÃO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE, (1999). Estudo Integrado da Bacia do rio Tenente Amaral uma Proposta de Zoneamento Ambiental. Cuiabá.
- FIORIO, P. R., BARROS, P. P da S., OLIVEIRA, J. S. de, NANNI, M. R. Estimativas de perda de solo em ambiente SIG utilizando diferentes fontes de dados topográficos. *AMBIÊNCIA*, v. 12, n. 1, p. 203-216, 2016. In: <http://revistas.unicentro.br/index.php/ambiencia/article/view/3040/pdf>. <acesso em 13/10/2016>.
- FUSHITA, A. T., CAMARGO-BORTOLIN, L. H. G., ARANTES, E. M., MOREIRA, M. A. A., CANÇADO, C. J., LORANDI, R. Fragilidade ambiental associada ao risco potencial de erosão de uma área da região geoeconômica médio Mogi Guaçu superior (SP). *Revista Brasileira de Cartografia*, p. 477- 488, 2010. [http://www2.fct.unesp.br/docentes/carto/Joao\\_Fernando/EngAmb/Lista13artigos/396-1157-1-PB.pdf](http://www2.fct.unesp.br/docentes/carto/Joao_Fernando/EngAmb/Lista13artigos/396-1157-1-PB.pdf). <acesso em 17/09/2016>.
- GUERRA, A. J. T; BOTELLO, R. G. M.; Erosão dos Solos In: CUNHA, S.B.da; e GUERRA, A. J. T. (Org.). *Geomorfologia do Brasil*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil; 2003. p. (181 – 228).
- KORTING, T. S.; FONSECA, L. M.; ESCADA, M. I. S.; SILVA, F. C.; SILVA, M. P. S. GeoDMA: a novel system for spatial data mining. IEEE International Conference on Data Mining Workshops, 2008.
- MESSIAS, C. G.; FERREIRA, M. F. M; RIBEIRO, M. B. P; MENEZES, M. D. Análise empírica de fragilidade ambiental utilizando técnicas de geoprocessamento: o caso da área de influência da hidrelétrica do funil – MG. *Revista GEONORTE*, Edição Especial, v.2, n.4, p.112 - 125, 2012. In: <http://www.periodicos.ufam.edu.br/revista-geonorte/article/viewFile/2063/1942>. <acesso em 03/10/2016>.
- MORAIS, L.F.B. de; SILVA, V. da; NASCHENVEN, T.M. da C.; HARDONI, P.C.; ALMEIDA, J.E.L. de; WEBER, O.L. dos S.; BOEL, E.; DURIGON, V. Índice EI<sub>30</sub> e sua relação com o coeficiente de chuva do sudoeste do Mato Grosso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.15, p.339-344, 1991.
- NIMER, E. *Climatologia do Brasil*. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1989. p. (421).
- OLIVEIRA, F. G.; SERAPHIM, O. J.; BORJA, M.E. L. Estimativa de perdas de solo e do potencial natural de erosão da bacia de contribuição da microcentral hidrelétrica do

Lageado, Botucatu-SP. *Energia na Agricultura*, v. 30, n. 3, p. 302-309, 2015. <http://200.145.140.50/index.php/energia/article/view/1555>. <acesso em 29/09/2016>.

OQUENDO, K. M., dos SANTOS, L. B., de OLIVEIRA, L. P., PINHEIRO, A. C. D., & SOMMA, R. M. . Consciência ambiental e proteção da água. *Revista do Direito Público*, v. 4, n. 1, p. 41-59, 2009. In: <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/direitopub/article/view/10730/9436>. <acesso em 22/05/2016>.

PEREIRA NETO, M. C.; FERNANDES, E. Fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Seridó (RN/PB–Brasil). *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 16, n. 3, 2015. In: <http://www.lsie.unb.br/rbg/index.php?journal=rbg&page=article&op=view&path%5B%5D=603&path%5B%5D=10.20502%2Frbg.v16i3.603>. <acesso em 12/10/2016>.

QUEIROZ JUNIOR, V. S., CABRAL, J. B. P., Da ROCHA, I. R., & de BARCELOS, A. A. Uso de geotecnologias na caracterização da fragilidade ambiental da Bacia da UHE Foz do Rio Claro (GO). *GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, n. 15, p. 193-212, 2015. In: <http://www.geofocus.org/index.php/geofocus/article/view/413/326>. <acesso em 24/07/2016>.

ROSS, J. L. S. - Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados, In: *Revista do Departamento de Geografia/USP*, n.º 8, EDUSP, São Paulo/SP, 1994.

ROSS, J. L. S. *Geomorfologia: ambiente e planejamento*. SP: Contexto, 2001.p.(85).

ROSS, J. L. S. Geomorfologia aplicada aos EIAs - RIMAs. In: CUNHA, S.B.da; e GUERRA, A. J. T. (Org.). *Geomorfologia e meio ambiente*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. p. (291 – 336).

SANTOS, J. de O.; ROSS, J. L.S. Fragilidade ambiental urbana. *Revista da ANPEGE*, v. 8, n. 10, p. 127-144, 2012. In: <http://anpege.org.br/revista/ojs-2.4.6/index.php/anpege08/article/view/260> <acesso em 09/10/2016>.

SOARES, M. R. G., de J. SOUZA, J. L. M., de JERSZURKI, D. (2011): Fragilidade Ambiental da Bacia do Rio Pequeno em São José dos Pinhais (PR) *Revista Geografia (Londrina)*. V. 20, n 3, p. 057-070. In: <http://www.uel.Br/revistas/uel/index.php/geografia/article/view/7912/11914>. <acesso em 04/09/2016>.

SPERLING, M. V. *Estudos e modelagem da qualidade da água de rios: princípios do tratamento biológico de águas residuárias*. 1.ed. Belo Horizonte: UFMG, 2007. p. (196).

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*. Dissertação (Mestrado em Geografia Física). São Paulo: FFLCH - USP, 2001.

SPÖRL, C. & ROSS, J.L.S. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos, *GEOUSP - Espaço e Tempo*, São Paulo, Nº 15, p.39-49, 2004. in: <http://www.geografia.ffiich.usp.br/publicacoes/Geousp/Geousp15/Artigo3.pdf> . <acesso em 13/09/2016>.

TRICART, Jean – *Ecodinâmica*, FIBGE, Secretaria de Planejamento da Presidência da República, Rio de Janeiro/RJ, 1977.p.(91).

VENTURIM; R.P.; BAHIA; V.G.; Considerações sobre os principais solos de Minas Gerais e sua susceptibilidade à erosão. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v. 19, n. 191, p. 7-9, 2001.