

Análise e mapeamento dos graus de fragilidade ambiental da bacia do médio – baixo curso do rio Araguari, Minas Gerais

Mapping of environmental fragility of Araguari river medium lower basin, Minas Gerais

Thallita Isabela Silva Martins

Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFU
thallitaisabela@yahoo.com.br

Sílvio Carlos Rodrigues

Professor do Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFU
silgel@ufu.br

Artigo recebido para revisão em 28/03/2012 e aceito para publicação em 25/05/2012

RESUMO

Este artigo pretende apresentar a análise e mapeamento dos graus de fragilidade ambiental da Bacia do Médio-Baixo Rio Araguari, localizado no Triângulo Mineiro, Minas Gerais. Um conjunto de dados ambientais, como relevo, solos, geologia, uso da terra e cobertura vegetal foram analisados. A abordagem utilizou princípios da Teoria Ecodinâmica, Ecologia da Paisagem e Geomorfologia Ambiental para definir a fragilidade do ambiente juntamente com a aplicação de tecnologias geoespaciais e SIG. Usando estes procedimentos, foi possível produzir um conjunto de mapas para representar os aspectos ambientais da área de estudo, possibilitando a correlação e geração de mapas de classes de fragilidade potencial e emergente, adaptando-se as metodologias de Ross (1992) e Crepani et al. (2001). Os resultados mostram que a avaliação de classes de Fragilidade Potencial gerou valores de 39,3% da área total como sendo de Baixa Fragilidade, 29,2% como Média Fragilidade e 26,4% como sendo Alta Fragilidade. Apenas 5,1% foram classificadas como classe de Muito Baixa Fragilidade. Os mapas de classes de Fragilidade Emergente indicam que a atual situação da área de estudo, que após as intervenções antrópicas, apresentam um declínio das condições ambientais. O mapa apresenta como resultado a predominância da classe de Média Fragilidade (47,5%) e classe de Baixa Fragilidade (39,3%), que juntos contribuem com mais de 86% da área total de estudo.

Palavras chaves: Geoprocessamento, SIG, Sobreposição Ponderada, Planejamento ambiental.

ABSTRACT

This paper aims to conduct the analysis and mapping of environmental fragility degrees of the Araguari River Medium Lower Basin, located in Triângulo Mineiro, Minas Gerais. A set of environmental data, such as relief, geology, soils, land use and vegetable coverage were analyzed. The approach uses the Ecodynamic Theory, Landscape Ecology and Environmental Geomorphology principles to define degrees of environmental fragility together with the application of geospatial technologies and GIS. Using such procedures, it was possible to produce a set of maps to represent the environmental aspects of the study area, enabling the correlation and the generation of the potential and emerging classes of fragility maps, adapting the methods of Ross (1992) and Crepani et al. (2001). Results show us that the Potential Fragility classes evaluation generates values of 39.3% of total area as Low Fragility, 29.2% of Medium Fragility and 26.4% of High Fragility. Only 5.1% were classified as Very Low Fragility class. The Emerging Fragility Map shows the actual situation of the area, which after anthropic uses, presents a decline of environmental conditions. The resulting map presents a predominance of Medium Fragility class (47.5%) and Low Fragility Class (39.3%), which encompasses more than 86% of the total study area.

Keywords: Geoprocessing, GIS, Weighted overlay, Environmental Planning.

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento das sociedades humanas no decorrer da história foi marcado pela intensa busca dos seres humanos ao poderio sobre o meio ambiente, seja através do conhecimento científico, da apropriação do relevo ou do desenvolvimento de ferramentas e objetos que facilitem a vida cotidiana. Desde os tempos longínquos houve grande interesse em desvendar os mistérios da existência, ultrapassar os limites do território e desbravar novas terras.

Destaca-se, neste contexto, o desenvolvimento da ciência cartográfica, tendo seus primórdios desde antes do surgimento da escrita (ROSA, 2004). Com o advento dos computadores e novas tecnologias, a cartografia adquiriu diversas contribuições, sendo uma delas, o aperfeiçoamento das técnicas e ferramentas de Geoprocessamento, tais como o SIG, sensoriamento remoto, e processamento digital de imagens.

Neste contexto, enfoca-se os estudos acerca da fragilidade ambiental dos meios naturais e antrópicos, os quais vêm aproveitando o apoio das geotecnologias atuais para sua aplicação. Tomou-se como princípio orientador a Teoria Geral dos Sistemas e a Ecologia da Paisagem, ambos aplicados à ciência geográfica. Tendo por base os estudos ecodinâmicos de Tricart (1977) que inspirou os trabalhos de Ross (1994), bem como a proposição sistemática da pesquisa geomorfológica de Ab'Saber (1969), autor que introduziu o conceito de fisiologia da paisagem, buscou-se, a análise integrada da Ba-

cia do Médio-baixo Curso do Rio Araguari, a partir da perspectiva de que o ambiente é constituído por vários elementos (sociais, culturais, históricos, físicos, biológicos, espaciais e políticos), que se integram dinamicamente e estão em permanente evolução.

Os fundamentos teóricos que nutrem essa abordagem da vulnerabilidade das paisagens perpassam por Ab'Sáber (1969), autor que inseriu como um dos níveis da análise geomorfológica, a fisiologia da paisagem, a qual tem por objetivo o entendimento dos processos morfo-climáticos e pedogênicos atuais, ocasião na qual se insere o homem como agente que se apropria do meio e modifica as relações processuais entre a morfodinâmica e a resposta do substrato.

Mais especificamente, pode-se destacar a contribuição de Tricart (1977), a partir de sua classificação ecodinâmica dos meios em estáveis, *intergrades* e fortemente instáveis. Tais unidades ecodinâmicas foram consideradas como aquelas caracterizadas “por certa dinâmica do meio ambiente que tem repercussões mais ou menos imperativas sobre as biocenoses” (TRICART, 1977, p. 32), cujo conceito é integrado ao de ecossistema.

Portanto, diante de uma visão sistêmica das paisagens, em que o homem também é ser participante, é que se encontram as diretrizes para o estudo da fragilidade ambiental. Os preceitos empregados por Tricart serviram de base para as proposições de Ross (1994), quando este estabeleceu uma metodologia para a análise

empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. Segundo tal autor, “os estudos integrados de um determinado território pressupõem o entendimento da dinâmica de funcionamento do ambiente natural com ou sem a intervenção das ações humanas” (ROSS, 1994, p. 64), sendo que, os ambientes naturais apresentam maior ou menor fragilidade frente às intervenções antrópicas, em função de suas características genéticas.

Assim, tal autor deixou registrada a metodologia que propõe o estudo integrado dos diversos elementos constituintes do estrato terrestre, tais como clima, geologia, solos, relevo e cobertura vegetal, os quais são influenciados direta ou indiretamente pela atuação antrópica, por meio do uso da terra e aproveitamento dos recursos da natureza.

Em função destas propostas, o entendimento da fragilidade adotado neste trabalho implica em uma visão do conjunto da paisagem, no qual cada atributo é avaliado em sua componente geral, como contribuidor na definição dos aspectos que identificam o potencial natural de evolução da paisagem em equilíbrio, e em que aspectos os mesmos geram aspectos vulneráveis ao desencadeamento de processos de degradação de qualquer ordem. Assim, múltiplos aspectos de vulnerabilidade podem ocorrer em determinada paisagem, e a avaliação conjunta, e ponderada, permite uma identificação de padrões de comportamento da paisagem.

Dentre os aspectos negativos do mau gerenciamento desses recursos naturais pode-se

elencar o aceleração dos processos erosivos, o assoreamento e contaminação dos cursos d'água e consequente comprometimento dos recursos hídricos, a propensão a enchentes, o risco à fauna e à flora, e especialmente, à saúde humana, dentre outros fatores. Diante disso, é notória a importância de ações que visem a solução desses problemas, bem como, que levem em consideração a construção de planos eficazes para o melhor gerenciamento dos territórios. Assim, umas das ferramentas que contribuem para a análise e elaboração de documentos aplicados ao planejamento é o geoprocessamento, com vistas à elaboração de documentos cartográficos.

Diante do exposto, levando em consideração os impactos antrópicos sobre o meio ambiente, toma-se como objeto de estudo a Bacia do Médio-baixo Curso do Rio Araguari, que sofreu nos últimos anos severas alterações decorrentes da implantação das Usinas Hidrelétricas do Complexo Energético Amador Aguiar I e II, que geraram a inundação completa de grande parte do trecho do fundo do vale na área de influência.

Sendo assim, neste trabalho objetivou-se a aplicação de técnicas e ferramentas de geoprocessamento, tendo por base uma análise sistêmica para se chegar à avaliação empírica da fragilidade ambiental da bacia, adaptando-se as metodologias propostas por Ross (1992) e Crepani et al. (2001), tendo em vista uma melhor definição das classes de fragilidade e a possibilidade de utilização de uma matriz ponderada, que em

ambiente SIG, propicia rapidez de processamento, ampliando a capacidade de modelagem e decisão. Para isso, foi elaborada uma base cartográfica da área em questão, com informações sobre os seus atributos físicos e antrópicos.

2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo localiza-se na porção setentrional do Triângulo Mineiro e engloba a área de drenagem localizada entre as barragens de Miranda e as usinas hidrelétricas do Comple-

xo Energético Amador Aguiar (I e II), pertencente à Bacia Hidrográfica do Rio Araguari.

Sendo assim, a área de estudo corresponde à Bacia do Médio-baixo Curso do Rio Araguari, que está situada no seguinte quadrante de coordenadas: 18°32'00"S na latitude norte, 47°55'00"W na longitude leste, 18°59'00"S na latitude sul e 48°30'00"W na longitude oeste.

A bacia possui uma área de cerca de 1.180 km², sendo que, 50% da área encontra-se no município de Uberlândia, 49% no município de Araguari e 1% no município de Indianópolis (Figura 1).

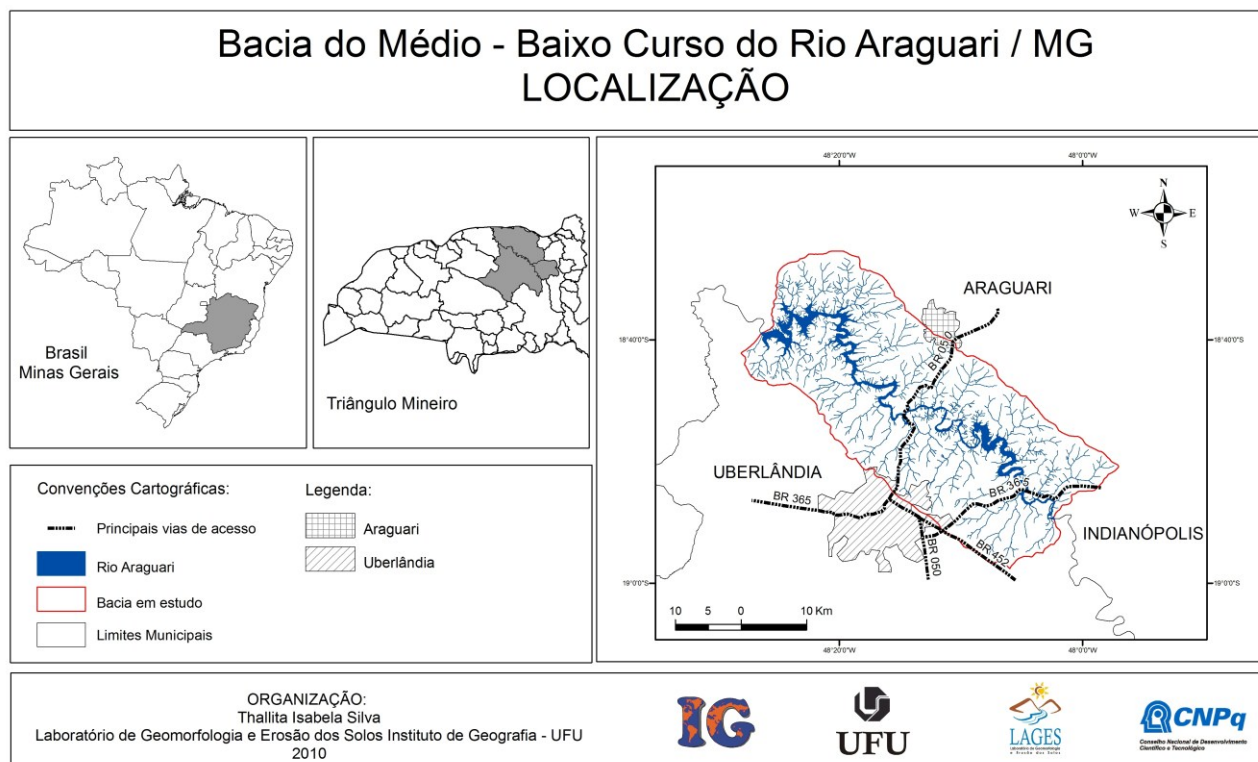


Figura 1: Mapa de localização da Bacia do Médio-baixo Curso do Rio Araguari. (Org.: Os Autores, 2010)

3. MÉTODOS, MATERIAIS E TÉCNICAS

3.1. Métodos

Para alcançar os objetivos propostos neste trabalho, foram realizados dois tipos de abordagens. O primeiro refere-se à abordagem direta, que foi concebida por meio dos trabalhos de campo e o segundo, à abordagem indireta, através da revisão bibliográfica e cartográfica, bem como, da elaboração de documentos cartográficos atualizados da área.

A abordagem do tema foi feita em caráter regional, para que se possa entender a dinâmica ambiental do trecho da bacia hidrográfica alvo deste estudo. Neste sentido, os temas escolhidos para avaliação foram trabalhados em escala de média resolução, a 1:100.000, sendo que todos estavam disponíveis nesta escala, seja fruto de trabalhos anteriores (geologia e solos), ou seja através de levantamento primário (relevo e uso do solo e cobertura vegetal).

No que tange à estruturação do trabalho, o esquema representado na Figura 2 elucida, de maneira geral, os procedimentos adotados.

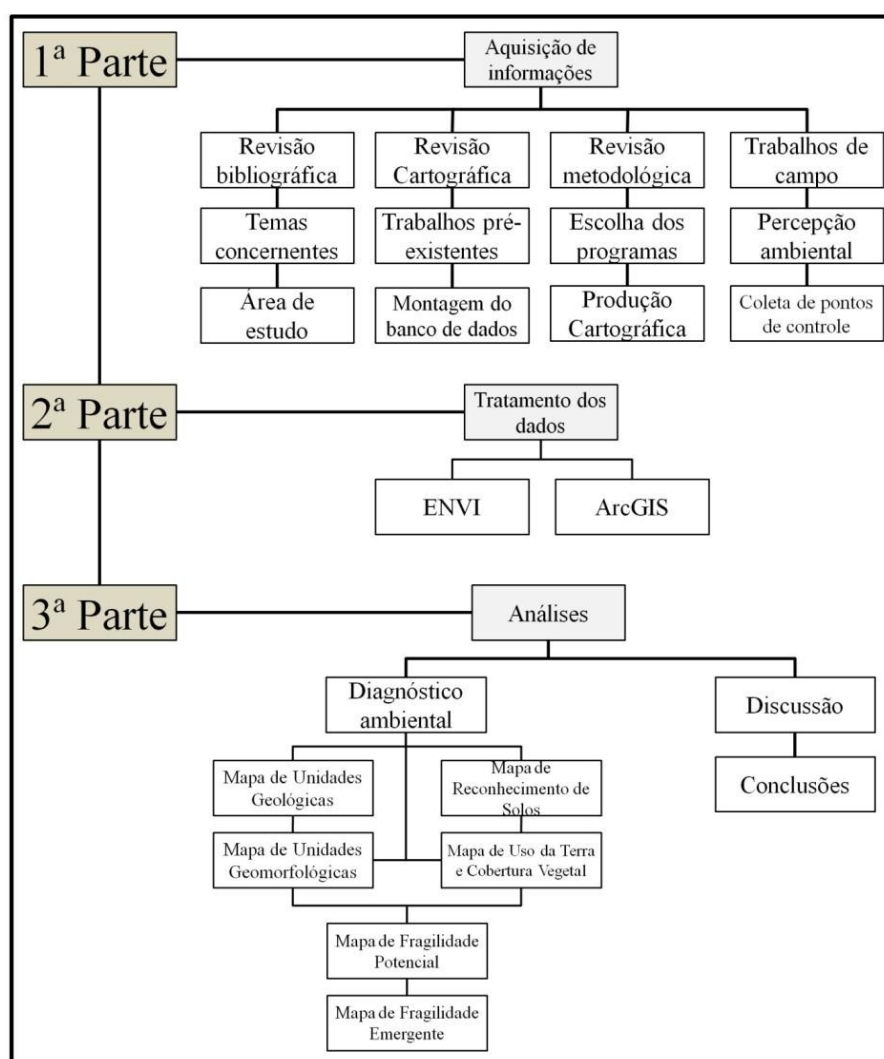


Figura 2: Fluxograma estrutural da pesquisa. (Org.: Os Autores, 2010)

3.2. Materiais

Os materiais utilizados para realizar a análise empírica da fragilidade ambiental da Bacia do Médio-baixo Curso do Rio Araguari foram:

- Base cartográfica: mapas de unidades geológicas, unidades geomorfológicas, solos e uso da terra e cobertura vegetal, na escala de 1:100.000;
- Pacote ArcGIS 9.3.1;
- *Software* ENVI (utilizado em específico para a elaboração do Mapa de Uso da Terra e Cobertura Vegetal)

3.3. Técnicas

A avaliação da fragilidade ambiental da Bacia do Médio-baixo Curso do Rio Araguari foi realizada a partir dos pressupostos de Ross (1994), Pedrosa (2006), Pedrosa e Pereira, (2011). Estes últimos contribuíram para a análise ponderada dos atributos geoespaciais por meio do ArcGIS, voltados a priori para a avaliação da suscetibilidade dos ambientes aos riscos naturais. Diversos outros autores utilizam a ferramenta de sobreposição ponderada para a avaliação da suscetibilidade dos ambientes frente a várias problemáticas existentes. Entretanto, optou-se por seguir o apresentado por Pedrosa e Pereira (2011), no sentido de que este autor enfoca principalmente a análise geomorfológica como importante meio na definição de suscetibilidade ambiental. A sua metodologia foi adap-

tada para este trabalho, levando em consideração os estudos de fragilidade ambiental de Ross.

Rodrigues (1998), baseado em Ross, testou a utilização de dois métodos para a avaliação da fragilidade dos meios naturais e antrópicos. Ele levou em consideração os conceitos de fragilidade potencial, que se refere à vulnerabilidade natural dos ambientes, quando estes se encontram com suas características naturais pouco alteradas ou intactas; e de fragilidade ambiental, que corresponde à vulnerabilidade natural associada aos graus de proteção que os diferentes usos da terra e cobertura vegetal podem exercer. Esta pode ser chamada também de fragilidade emergente, quando o enfoque maior está na influência da ocupação humana.

Sendo assim, optou-se por utilizar aqui o levantamento das informações de fragilidade potencial a partir da análise do relevo, a qual deve expressar os seus diferentes segmentos em função das características morfológicas, do embasamento litológico e dos solos (Ross, 1992). Em seguida prosseguiu-se ao cruzamento de tais informações com as variáveis de uso da terra e cobertura vegetal, para se chegar ao mapa de fragilidade emergente.

Para tal, utilizou-se o procedimento de atribuição hierárquica de valores, para a associação das variáveis ambientais, como relevo, rochas, solos, uso da terra e cobertura vegetal. Cada uma destas variáveis foi classificada em função de sua maior ou menor fragilidade frente aos processos erosivos e instabilização das vertentes, de modo que receberam uma classifica-

ção não-paramétrica e qualitativa, variante entre Muito Baixa, Baixa, Média, Forte e Muito Forte, acompanhadas de números arábicos que podem variar de 1 a 5 ou mais, dependendo da quantidade de atributos existentes, sendo que a relação de importância sobre o processo ambiental analisado é crescente.

Diante disso, a partir do proposto por Pedrosa e Pereira (2011), foi possível construir o modelo de fragilidade ambiental com a utilização de ferramentas de “*Spatial Analyst*” por meio da sobreposição ponderada (*Weighted Overlay*) dos atributos, ou seja, atribuindo-lhes, além dos códigos de fragilidade, os valores em porcentagem da influência que eles exercem sobre os processos ambientais em análise. Dessa forma, antes de tudo, é necessário ter em mente o processo de análise a qual a modelagem se refere, tais como, suscetibilidade a deslizamentos, a processos erosivos, entre outros, para verificar quais elementos possuem maior importância no desencadeamento de tais processos.

O procedimento de sobreposição ponderada (*Weighted Overlay*) consiste na aplicação de álgebra simples, por meio do cruzamento de arquivos em formato Raster. A lógica é a seguinte: suponham-se duas entradas de dados raster, cada uma delas recebe uma classificação de suas células em uma escala de um a três. Cada raster deve receber uma porcentagem de influência, que varia de 0 a 1. Assim, cada célula é multiplicada pelo valor da porcentagem atribuída, sendo os resultados obtidos somados e transferidos para a criação de um novo raster. Por exemplo, ao se cruzar uma célula com valor 2, cujo raster recebeu a influência de 0,75; e uma célula com valor 3 e influência de 0,25; temos $[(2 \times 0,75) = 1,5]$ e $[(3 \times 0,25) = 0,75]$. A soma de 1,5 e 0,75 é 2,25; no entanto, a ferramenta *Weighted Overlay* (ArcGIS) reconhece resultados inteiros, e assim arredonda o valor final para 2 (ESRI, 2008; Figura 3).

Diante do exposto, pode-se resumir os procedimentos operacionais conforme o fluxograma apresentado na Figura 4.

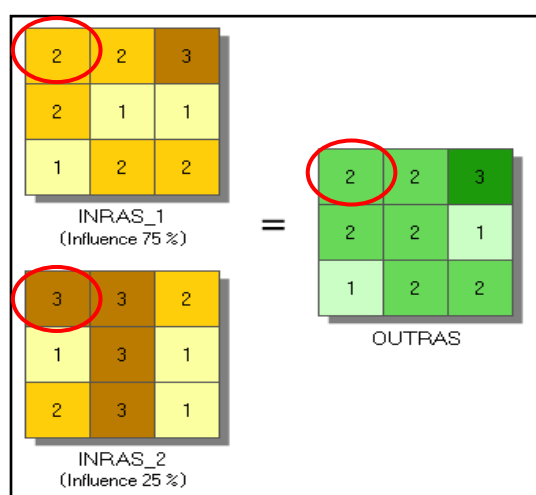


Figura 3: Esquema de cruzamento de células Raster.
Fonte: Adaptado de ESRI, 2008.

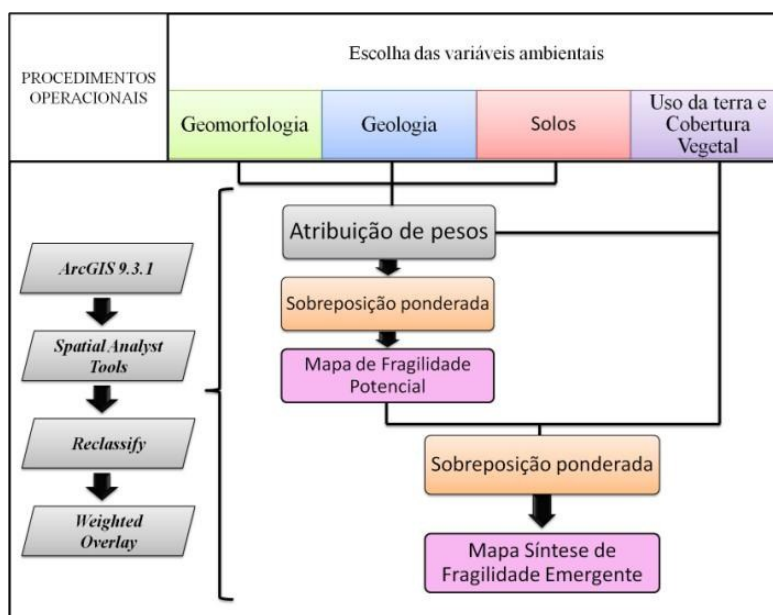


Figura 4: Fluxograma dos procedimentos operacionais para a elaboração do Mapa Síntese de Fragilidade Emergente. (Org.: Os Autores, 2010)

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tendo em vista o caminho metodológico tratado anteriormente, chegou-se à classificação dos atributos ambientais avaliados para a definição da vulnerabilidade ambiental da área de estudo. A seguir, são tecidas as considerações para cada mapa utilizado:

4.1. Mapa de unidades geomorfológicas

A carta geomorfológica é um dos produtos intermediários para a construção da carta de fragilidade. Sendo assim, para os estudos de áreas representadas em escalas médias e pequenas (neste caso 1:100.000), toma-se como referencial morfométrico a Matriz dos Índices de Dissecção de Ross (1992) (Quadro 1), a partir da qual se estabeleceu esquematicamente o nível de influência na fragilidade aos processos erosivos.

Os índices morfométricos indicam nos valores mais baixos, os relevos com dissecções mais moderadas, como o 11, por exemplo; enquanto que os valores mais altos remetem aos relevos mais dissecados, tal como o 55 (ROSS, 1992). Em superfícies de topos absolutamente planos (Dp), como ocorre nos interflúvios da bacia de estudo (Figura 5), atribui-se a mesma classificação aplicada às superfícies com índice morfométrico 11.

Logo, as categorias morfométricas ficaram classificadas de acordo com o potencial de instabilidade, o qual, se sabe que, nas superfícies mais acidentadas é maior, enquanto que nas mais suaves, tende a ser menor (Quadro 2).

Na Figura 5, que corresponde às unidades geomorfológicas, pode ser visualizada a espacialização das categorias morfométricas

Grau de entalhamento dos vales (classes)	Dimensão interfluvial média (classes)				
	Muito grande (1) > 3.750	Grande (2) 1.750 a 3.750	Média (3) 750 a 1.750	Pequena (4) 250 a 750	Muito pequena (5) <250
Muito fraco (1) < 20 m	11	12	13	14	15
Fraco (2) 20 a 40 m	21	22	23	24	25
Média (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

Quadro 1: Matriz dos índices de dissecação do relevo. Fonte: ROSS, 1992.
(Org.: Os Autores, 2010)

Fragili- dade	Categorias morfo- métricas (Modelados)	Códi- go
Muito Fraca	11	1
Fraca	21, 22, 12	2
Média	31, 32, 33, 13, 23	3
Forte	41, 42, 43, 44, 14, 24, 34	4
Muito Forte	51, 52, 53, 54, 55, 15, 25, 35, 45	5

Quadro 2: Classes de fragilidade para a categoria relevo. Adaptado de ROSS (1994).
(Org.: Os Autores, 2010)

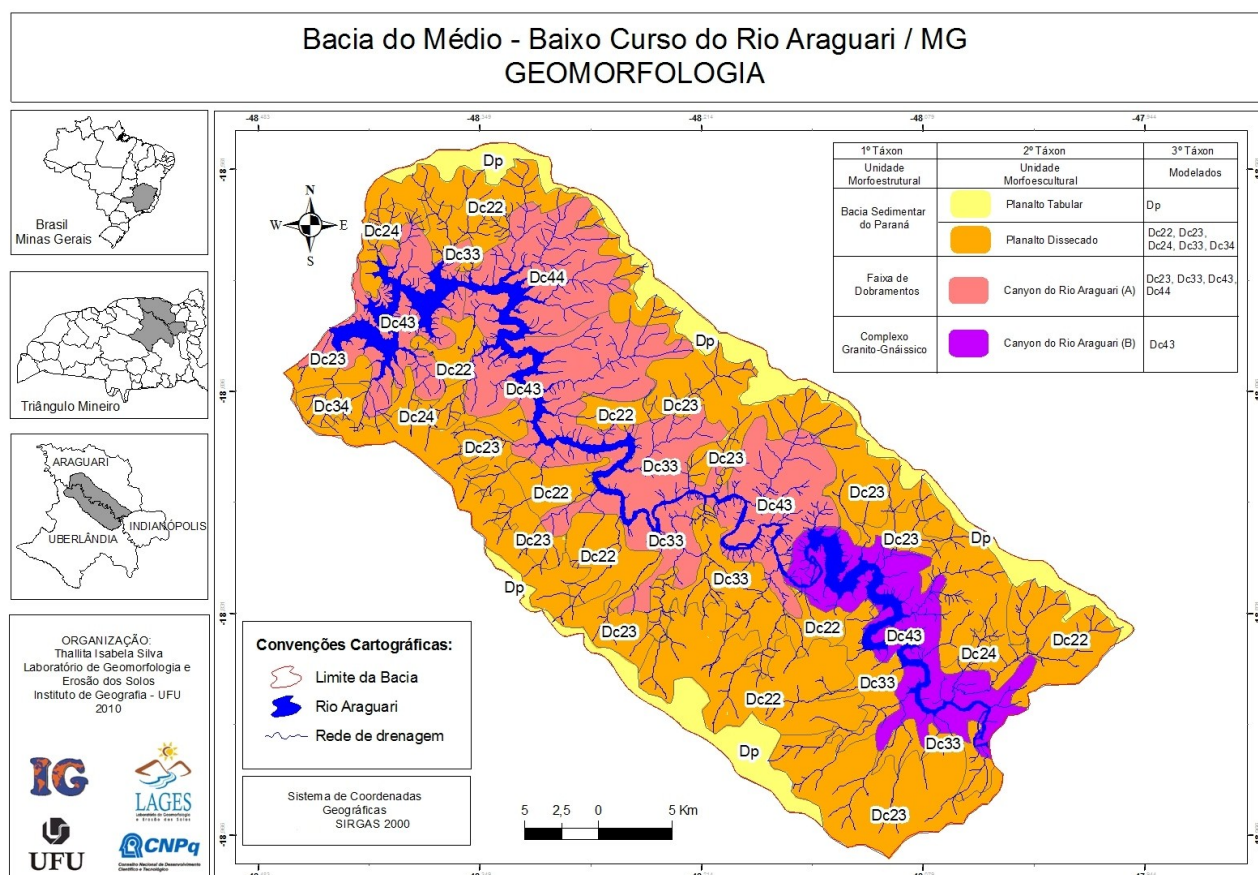


Figura 5: Mapa de Unidades Geomorfológicas da Bacia do Médio-baixo Curso do Rio Araguari.
(Org.: Os Autores, 2010)

4.2. Mapa de unidades geológicas

As unidades correspondentes aos tipos de rochas foram classificadas conforme Crepani et al. . (2001), que atribuíram posições relativas e empíricas para as litologias mais comumente encontradas, dentro de uma escala de vulnerabilidade à denudação (intemperismo + erosão) no que se refere ao grau de coesão das rochas ígneas, metamórficas e sedimentares.

Os autores definiram uma escala que varia de 1 a 3 conforme as Unidades Ecodinâmicas de Tricart (meios estáveis, *intergrades* e meios fortemente instáveis), respectivamente (Quadro 3). Entretanto, conforme as definições atribuídas pelos autores, a escala utilizada foi

adaptada para este trabalho de acordo com os graus de fragilidade de Muito baixa a Muito Forte, no que concerne às rochas ocorrentes na área de estudo (Quadro 4, Figura 6). Salienta-se que a classificação feita neste trabalho não é diretamente proporcional à de Crepani, uma vez que se buscou avaliar qualitativamente os graus de vulnerabilidade das rochas em função de sua importância na distinção dos diferentes compartimentos de paisagem, que são verificados através da sua importância na estruturação do relevo e da paisagem como um todo, ao interferirem na estruturação da rede de drenagem, na ocorrência de afloramentos, ou na exploração econômica dos recursos.

Escala de vulnerabilidade à denudação das rochas mais comuns					
Quartzitos ou metaquartzitos	1,0	Milonitos, Quartzo muscovita, Biotita, Clorita xisto	1,7	Arenitos quartzosos ou ortoquartzitos	2,4
Riólito, Granito, Dacito	1,1	Piroxenito, Anfíbolito, Kimberlito, Dunito	1,8	Conglomerados, Subgrauvacas	2,5
Granodiorito, Quartzo Diorito, Granulitos	1,2	Hornblenda, Tremolita, Actinolita xisto	1,9	Grauvacas, Arcózios	2,6
Migmatitos, Gnaisses	1,3	Estaurolita xisto, Xistos granatíferos	2,0	Siltitos, Argilitos	2,7
Fonólito, Nefelina Sienito, Traquito, Sienito	1,4	Filito, Metassiltito	2,1	Folhelhos	2,8
Andesito, Diorito, Basalto	1,5	Ardósia, Metargilito	2,2	Calcários, Dolomitos, Margas, Evaporitos	2,9
Anortosito, Gabro, Peridotito	1,6	Mármore	2,3	Sedimentos Inconsolidados: Aluviões, Colúvios etc.	3,0

Quadro 3: Escala de Vulnerabilidade à denudação das rochas mais comuns.
Fonte: CREPANI et al. ., 2001.

<i>Fragilidade</i>	<i>Categorias de rochas</i>	<i>Código</i>
Muito Fraca	Basaltos – Grupo São Bento	1
Fraca	Gnaisses – Suíte Jurubatuba	2
Média	Xistos – Grupo Araxá	3
Forte	Arenitos – Grupo Bauru	4
Muito Forte	Coberturas Cenozóicas	5

Quadro 4: Classes de fragilidade para a categoria rochas.
(Org.: Os Autores, 2010)

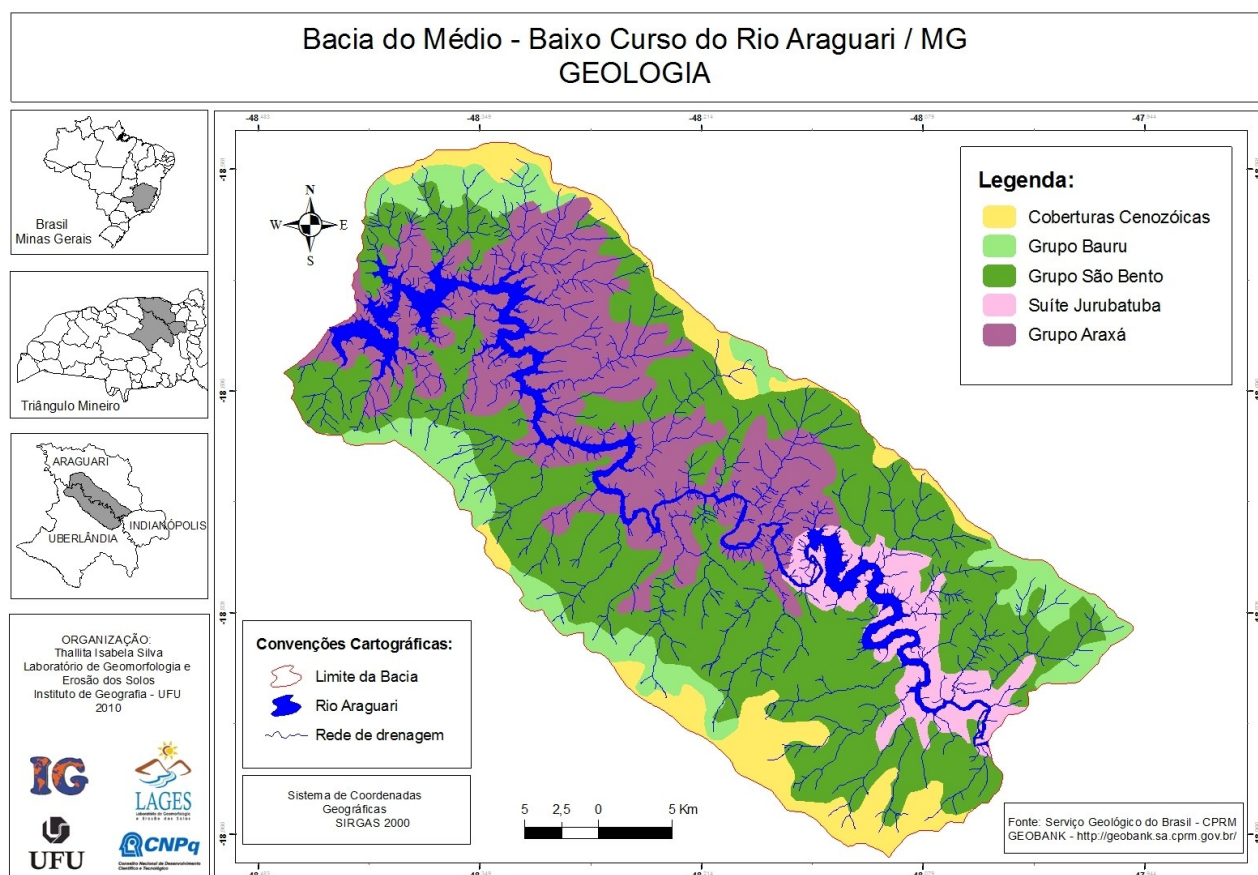


Figura 6: Mapa de Unidades Geológicas da Bacia do Médio-baixo Curso do Rio Araguari.
(Org.: Os Autores, 2010)

4.3. Mapa de solos

No tocante à classificação dos solos, seguiu-se a proposição de Ross (1994), na qual ele utiliza critérios acerca das características de textura, estrutura, plasticidade, grau de coesão das partículas e profundidade/espessura dos perfis. Estas características estão intimamente

ligadas ao relevo, geologia, clima, pedogênese, entre outros fatores importantes para a determinação dos atributos químicos e mecânicos dos solos. Deste modo, para a variável solo as classes de fragilidade ficaram definidas de acordo com o Quadro 5. A espacialização das categorias de solos pode ser visualizada na Figura 7.

Fragilidade	Categorias de solos			Código	
	Símbolo	Associação de solos			
Muito Baixa	LVaf	LATOSSOLO VERMELHO Alumino-férrico	-	-	1
Muito Baixa	LVd1	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico epialco	-	-	1
Muito Baixa	LVd2	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico ou Distrófico epialco	-	-	1
Baixa	LVd3	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico ou Aluminoférrico	CAMBISSOLO HÁPLICO Eutrófico	-	2
Média	LVe	LATOSSOLO VERMELHO Eutrófico	CAMBISSOLO HÁPLICO Eutrófico	NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico	3
Média	LVAa	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Alumínico ou Distrófico epialco	-	-	3

Continua...

Forte	CXbe1	CAMBISSOLO HÁPLICO Eutrófico	NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico	NITOSSOLO VERMELHO Eutrófico	4
Forte	CXbe2	CAMBISSOLO HÁPLICO Eutrófico	NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico	-	4
Muito Forte	PVAe	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico	CAMBISSOLO HÁPLICO Eutrófico	-	5

Quadro 5: Classes de fragilidade para a categoria solos (Org.: Os Autores, 2010)

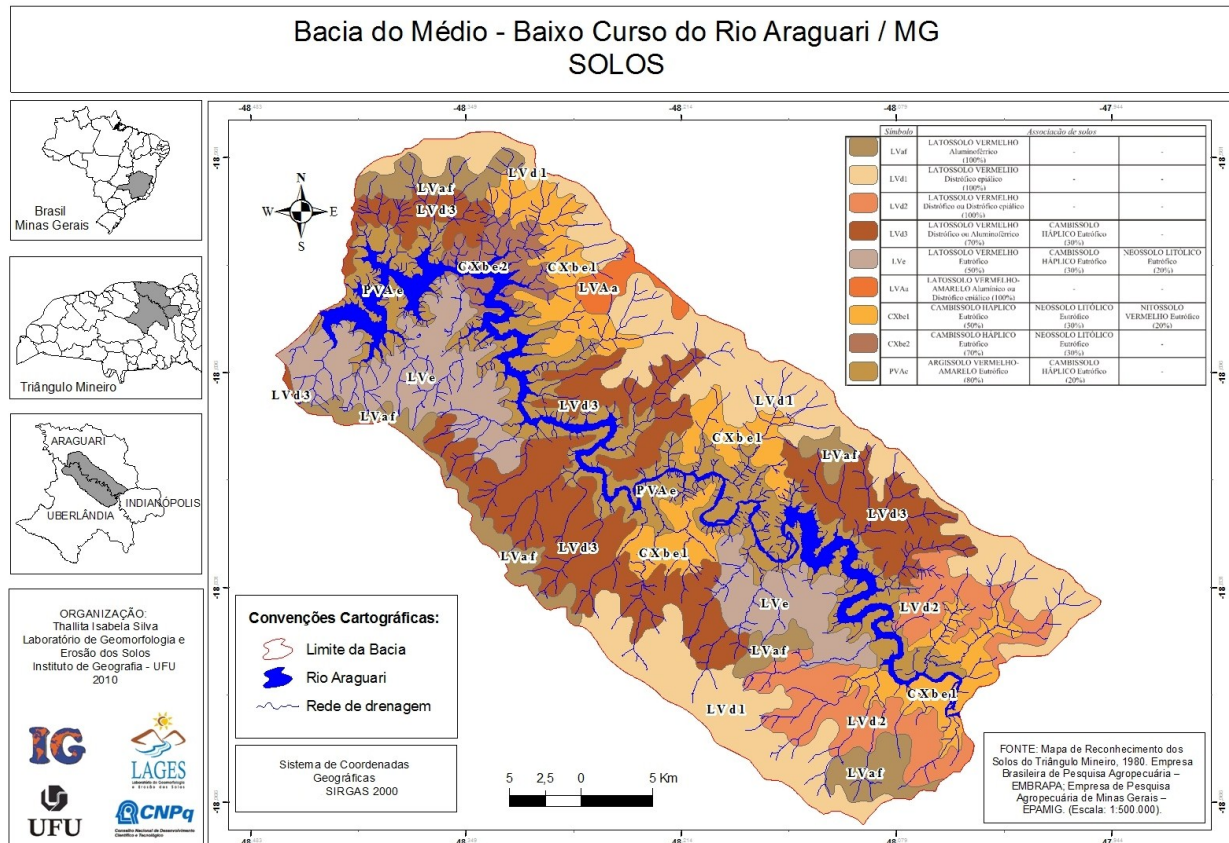


Figura 7: Mapa de Solos da Bacia do Médio-baixo Curso do Rio Araguari. (Org.: Os Autores, 2010)

4.4. Mapa de uso da terra e cobertura vegetal

O mapa de uso da terra e cobertura vegetal foi elaborado a partir do *software* ENVI 4.3, com a utilização da ferramenta de classificação supervisionada *Maximum Likelihood*. Foram determinadas seis classes de uso e ocupação da terra, a saber: Florestas/Cerrados/Florestamentos, pastagem, cultura de ciclo longo, cultura de ciclo curto, uso urbano e água. Tais classes foram assim definidas em função da escala adotada, que não permitiu

um grau de detalhamento maior, bem como, devido ao pré-conhecimento da dinâmica de uso e ocupação da bacia em estudo, já que anteriormente, foram feitos diversos trabalhos de campo para reconhecimento do padrão de uso. Com exceção da água, todas as outras classes receberam valores de interferência para a determinação dos graus de fragilidade ambiental.

Com relação às classes de uso da terra e cobertura vegetal, Ross determina uma hierarquização a partir dos seus graus de proteção ao solo, obedecendo a uma ordem decrescente dessa capacidade de proteção. Assim, uma área florestada (natural) exerce uma maior proteção

ao solo que uma área de Cerrado ralo. Da mesma forma, essas duas classes anteriores têm uma capacidade maior de proteção do que uma área de pastagem ou agricultura, que por sua vez, revelam-se mais favoráveis que os solos expostos.

Diante disso, a classificação das classes de uso da terra e cobertura vegetal pode ser conferida no Quadro 6, enquanto que a Figura 8 demonstra a espacialização das classes de uso da terra e cobertura vegetal.

<i>Graus de proteção</i>	<i>Categorias de Uso da Terra e Cobertura Vegetal</i>	<i>Código</i>
Muito Alta	Florestas/Cerrado/Florestamento	1
Alta	Pastagem	2
Média	Uso urbano	3
Baixa	Cultura de ciclo longo	4
Muito Baixa	Cultura de ciclo curto	5

Quadro 6: Classes de fragilidade para a categoria Uso da Terra e Cobertura Vegetal (Org.: Os Autores, 2010)

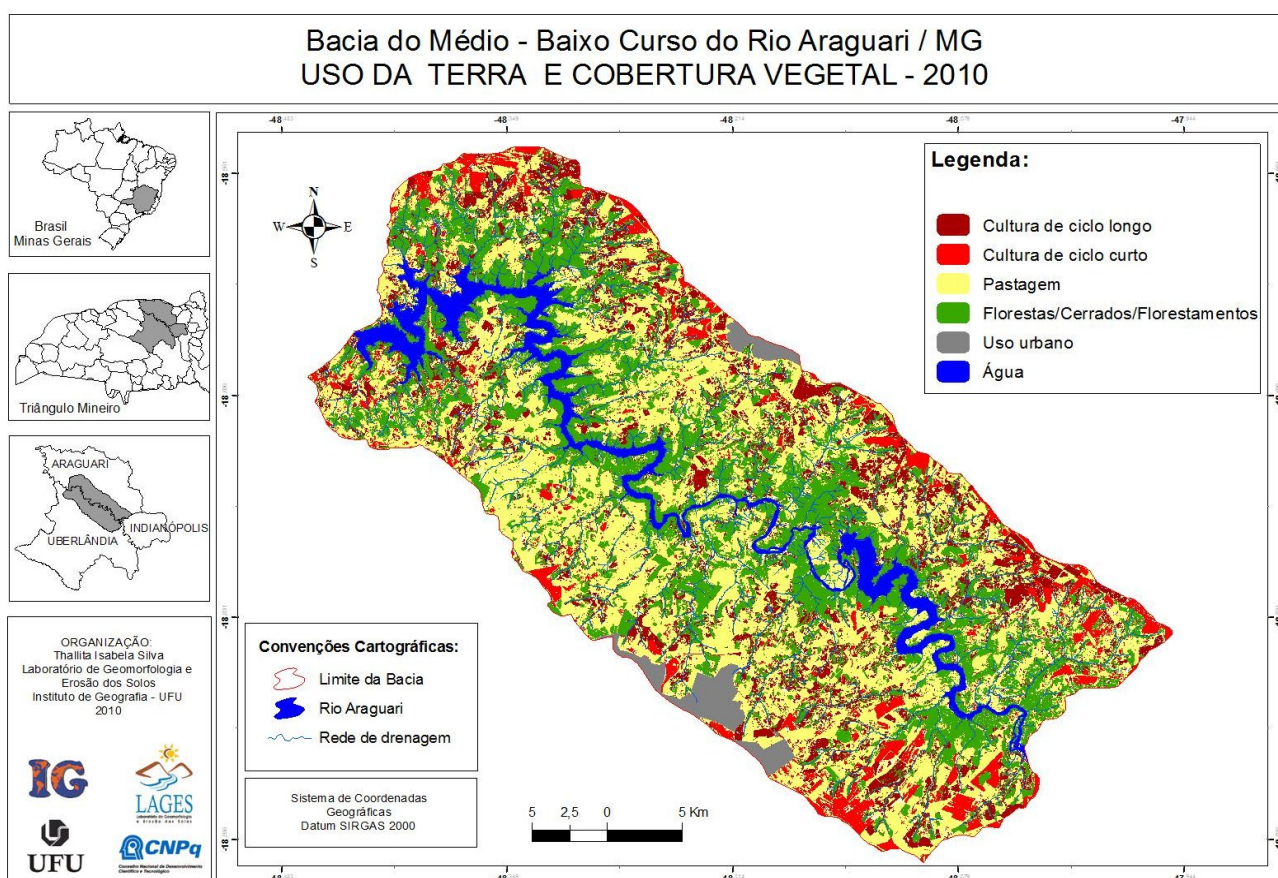


Figura 8: Mapa de Uso da Terra e Cobertura Vegetal da Bacia do Médio-baixo curso do rio Araguaari. (Org.: Os Autores, 2010)

4.5. Fragilidade ambiental

Tendo em vista todas as categorias classificadas, realizou-se a ponderação dos atributos conforme o seu grau de importância sobre o

desencadeamento dos processos erosivos. Salienta-se que a soma da ponderação de todos os elementos devem ser iguais a 100%.

De acordo com Guerra (2007) os fatores que controlam os processos erosivos são aqueles

que determinam as suas variações, como a erosividade da chuva, propriedades dos solos, cobertura vegetal e características das vertentes. A interação desses fatores é responsável pela maior ou menor taxa de erosão ocorrente em diversas áreas. Consequentemente, a atuação do homem pode alterar esses fatores, contribuindo para o seu aceleração ou retardamento.

Portanto, a atribuição de valores ponderados às diversas variáveis a serem utilizadas para a avaliação da fragilidade ambiental da área em estudo, deve ser tomada como sendo relativa e empírica, conforme os conhecimentos adquiridos acerca dos processos erosivos em regiões tropicais.

No caso da análise realizada neste trabalho, tomou-se como base a suscetibilidade à erosão das superfícies principalmente em decorrência das suas variações morfológicas frente ao uso que se procede sobre o relevo. Baccaro (1999) coloca que é imprescindível, em um primeiro nível de abordagem (escala regional) a espacialização dos processos erosivos inter-relacionados às unidades geomorfológicas, que são a base para o entendimento da morfodinâmica. Sendo assim, a categoria morfométrica merece destaque junto à ponderação dos atributos.

Cabe ressaltar que a cobertura vegetal e o uso que se atribui ao solo são imprescindíveis para o controle e desencadeamento de processos erosivos. Assim, esta categoria deve também

possuir um peso significativo dentro das análises de fragilidade, pois, de acordo com Guerra (2007), a fisionomia da cobertura vegetal é um fator de importância perante a remoção de sedimentos, no escoamento superficial e na perda de solos, podendo reduzir os fatores que contribuem para a erosão natural.

Além disso, os tipos de solos são de grande importância para os estudos de processos erosivos. Eles podem ser analisados quanto ao seu grau de erodibilidade, propriedade que, de acordo com Morgan (1986) apud Guerra (2007), define a sua maior ou menor propensão à desagregação e remoção. Por conseguinte, os solos representam peso significativo no estudo da fragilidade.

No que se refere ao embasamento rochoso, entende-se que a natureza das rochas está sob a atuação de diversos fatores morfoclimáticos, o que as tornam capazes de influenciar no modo de escoamento superficial, na desagregação e na decomposição. No entanto, como corresponde à camada subsuperficial do estrato terrestre, foi considerado que as rochas apresentam um grau de influência menor perante os atributos anteriores.

Logo, o Quadro 7 sintetiza as ponderações atribuídas aos diferentes elementos que constituem objeto da análise ambiental da bacia em estudo:

*Valores de ponderação para
obtenção da Fragilidade Po-*

*Valores de ponderação para a obtenção da Fra-
gilidade Emergente*

<i>tencial</i>			
<i>Atributos ambientais</i>	<i>Ponderação (%)</i>	<i>Variáveis</i>	<i>Ponderação (%)</i>
Geomorfologia	45	Mapa de Fragilidade Potencial	50
Solos	35	Mapa de Uso da Terra e Cobertura Vegetal	50
Geologia	20	Total	100
Total	100		

Quadro 7: Valores ponderados para os elementos ambientais. (Org.: Os Autores, 2010)

4.5.1. Fragilidade potencial

A análise da Fragilidade Ambiental por sobreposição ponderada aplicada na Bacia do Médio-baixo Curso do Rio Araguari, conforme as proposições metodológicas de Ross (1994), resultou em dois produtos que permitiram a espacialização das áreas mais vulneráveis aos processos de erosão.

O primeiro deles corresponde ao cruzamento das informações geomorfológicas, geológicas e de solos, que resultou no Mapa de Fragilidade Potencial (Figura 8). Tal produto cartográfico indica os graus de fragilidade natural da bacia, que devem ser levados em consideração nos processos de ocupação antrópica, tendo em vista a manutenção do equilíbrio ambiental das regiões geográficas, o que nem sempre é realizado.

Neste contexto, os procedimentos metodológicos adotados permitiram chegar a uma classificação não-paramétrica da área de estudo. Foram identificadas quatro classes de fragilidade potencial, a saber: Muito baixa, Baixa, Média e Alta. A classe Muito Alta não foi encontrada, o que condiz com a variação dos padrões de

relevo, os quais, na classificação de Ross, não receberam o valor correspondente ao mais alto nível de fragilidade.

A partir desses dados foi possível inferir que a classe de maior ocorrência é a da Fragilidade Baixa com quase 460 km² de extensão (39,30%). Isto se deve ao fato de que a maior parte da área se encontra em relevo medianamente dissecado e sobreposto aos basaltos da Formação Serra Geral. No entanto, a Fragilidade Média é bastante representativa, com ocupação de cerca de 340 km² (29,20%), estando associada aos relevos medianamente dissecados a dissecados, com declividades mais acentuadas. Esta classe, somada à fragilidade Alta, que ocupa aproximadamente 310 km² de área (26,37%) e caracteriza-se pela ocorrência de relevo bastante dissecado e solos pouco espessos, representam mais da metade da bacia de estudo. Isto torna-se preocupante a medida em que os territórios são ocupados indiscriminadamente, pois as chances de degradação aumentam quanto maior o nível de suscetibilidade do meio ambiente. A classe Muito baixa, por sua vez é pouco representativa (60 km² - 5,13%) tendo em vista a dimensão da bacia do Médio-baixo Araguari, prevalecendo nas áreas de declividades mais

suaves e rochas mais coesas, como o basalto (Quadro 8).

A Figura 9 indica que as áreas mais frágeis frente aos processos erosivos ocorrem em toda a extensão do fundo do vale, associadas aos

xistos e gnaisses do Pré-Cambriano e aos modelados de índices de dissecação elevados. Nestes trechos, os solos também possuem índices de fragilidade que vão desde Alta a Muito Alta.

<i>Área ocupada pelas classes de Fragilidade Potencial</i>	
<i>Classe</i>	<i>(%)</i>
Muito baixa	5,13
Baixa	39,30
Média	29,20
Alta	26,37

Quadro 8: Área ocupada pelas classes de Fragilidade Potencial. (Org.: Os Autores, 2010)

Em geral, pode-se dizer que a bacia apresenta um perfil de fragilidade potencial que obedece ao caimento topográfico do terreno, a qual aumenta à medida que se diminuem as cotas altimétricas. Entretanto, é válido salientar

que, mesmo as áreas de topos planos, ainda apresentam variações de Baixa a Média fragilidades, acentuadas, em especial, pela presença dos depósitos de idade Cenozóica.

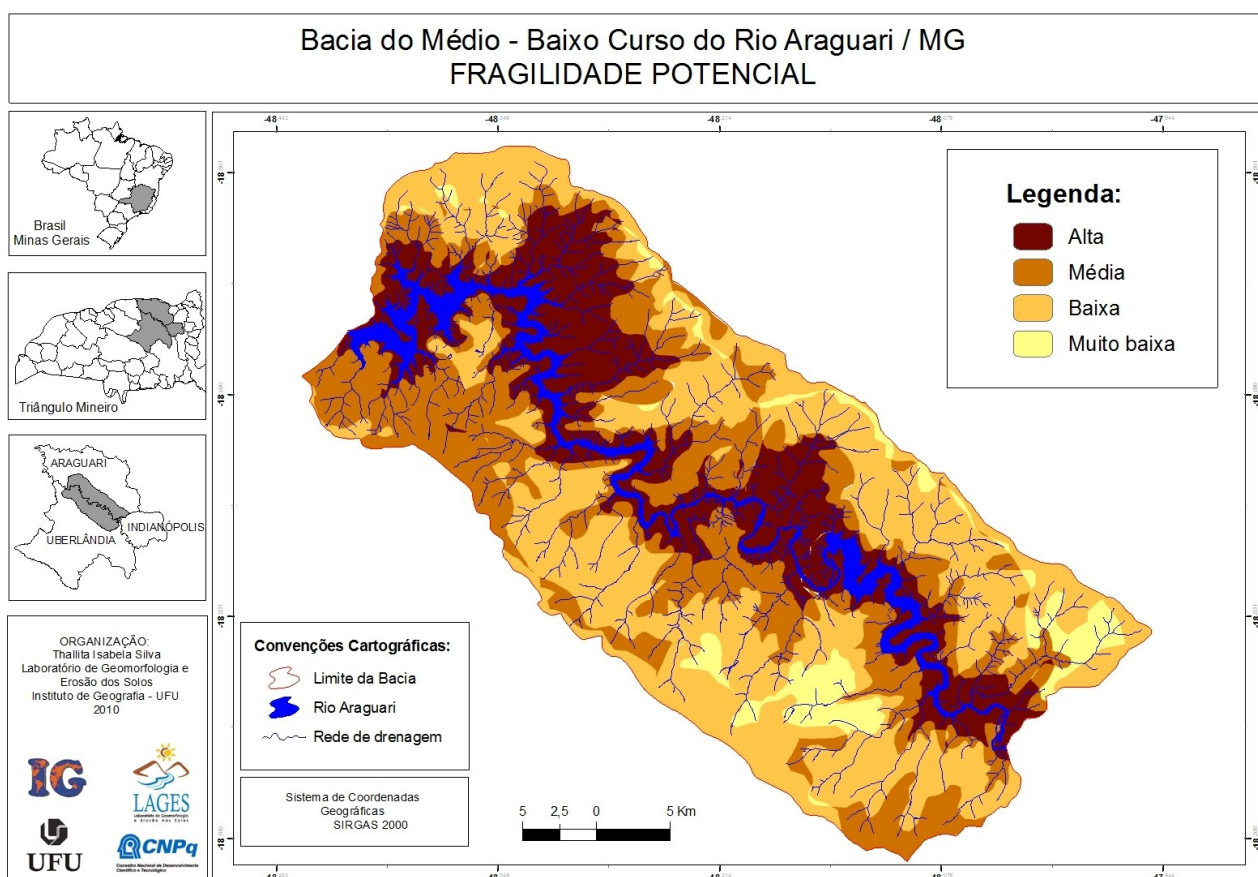


Figura 9: Mapa de Fragilidade Potencial da Bacia do Médio-baixo Curso do Rio Araguari. (Org.: Os Autores, 2010)

4.5.2. Fragilidade Emergente

O segundo produto resultante corresponde ao Mapa de Fragilidade Emergente, no qual se insere a espacialização das atividades humanas sobre a superfície. Demonstra a situação ambiental atual perante as intervenções antrópicas, bem como, os graus de suscetibilidade à erosão de Muito baixa a Muito Alta.

A espacialização das classes de fragilidade pode ser verificada no Quadro 9, a partir da qual, tem-se que a classe de Fragilidade Média é a predominante, correspondendo a 47,55% da área ocupada, o que equivale a mais de 550 km² de extensão. Esta classe refere-se aos fundos dos vales e às áreas ocupadas pelo uso urbano.

<i>Área ocupada pelas classes de Fragilidade Emergente</i>	
<i>Classe</i>	<i>(%)</i>
Muito baixa	1,08
Baixa	39,28
Média	47,55
Alta	11,89
Muito Alta	0,20

Quadro 9: Área ocupada pelas classes de Fragilidade Emergente. (Org.: Os Autores, 2010)

Já a classe de Baixa Fragilidade ocupa praticamente as extensões que remetem às áreas de pastagens, que por sua vez, em geral, não apresentam um alto potencial de suscetibilidade à erosão. Devido a isso, ocupa uma extensão relativamente grande, sendo quase 450 km² (39,28%). No que se refere à classe de Fragilidade Muito baixa, esta corresponde a cerca de 1% da área da bacia, aproximadamente 12 km².

Em relação à Alta e Muito Alta Fragilidade, observa-se que esta última é bastante insignificante dentro do conjunto da bacia hidrográfica, corresponde apenas a 0,2% da área em questão, menos que 2,5 km²; enquanto que a primeira ocupa uma região de, aproximadamen-

te, 140 km² (11,98%), estando associada à ocorrência das culturas de ciclo curto e longo.

Isso indica, *a priori*, que é necessário haver um cuidado maior sobre as áreas de agricultura, para que se minimize a situação de instabilidade que elas representam junto ao sistema ambiental da bacia.

A Figura 10 elucida a espacialização das classes de fragilidade emergente, possibilitando o diagnóstico da fragilidade ambiental da Bacia do Médio-baixo Curso do Rio Araguari. Este resultado é uma potencial ferramenta para contribuição na elaboração de estudos ambientais mais aprofundados que visem a aplicação de um planejamento ambiental mais eficaz.

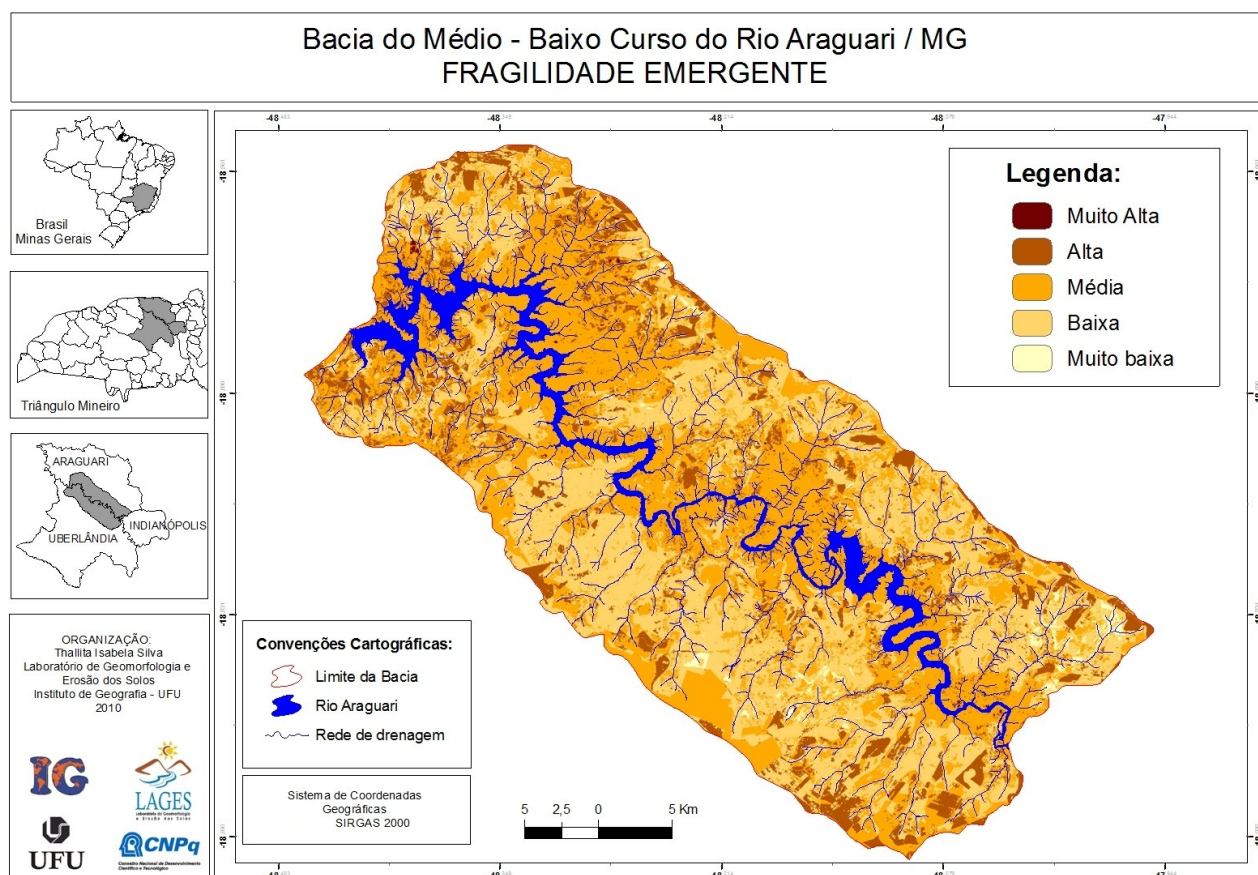


Figura 10: Mapa de Fragilidade Emergente da Bacia do Médio-baixo Curso do Rio Araguaari.
(Org.: Os Autores, 2010)

4.6. Discussão

Os resultados apresentados demonstram a aplicabilidade das geotecnologias para a modelagem da paisagem, que pode servir como base não apenas relacionado à análise da fragilidade ambiental, mas também em diferentes aspectos que se queira focar.

Contudo, há que se destacar a existência de diversas metodologias apoiadas em várias ferramentas dentro do próprio SIG, como pode ser visto em Cruz, Pinese Junior e Rodrigues (2010), e também em outros autores, como Câmara e Medeiros (1998) e Crepani et al. (2001). Estes dois últimos corroboram para a teorização das aplicações em sensoriamento remoto e geo-

processamento, voltados, em especial, às áreas da Geografia Física e ciências ambientais.

No que se refere ao trabalho de Cruz, Pinese Júnior e Rodrigues (2010), estes realizaram, com base em Ross, a análise qualitativa para definição do potencial de fragilidade de diferentes fatores – uso da terra, grau de declividade e tipo de solo – de uma bacia hidrográfica. O seu procedimento metodológico contou com a atribuição de valores levando em consideração que todos os fatores teriam a mesma influência na fragilidade da área estudada. Houve o cruzamento dos diferentes atributos a partir de um somatório, ou seja, as regiões somam seus pesos relativos à degradação, de uso do solo, declividade e tipos de solos, gerando um

produto síntese que determina a qualidade ambiental da área estudada.

A metodologia de tais autores apontou vantagens no sentido de reproduzir uma aproximação da realidade, entretanto, do ponto de vista operacional demanda maior quantidade de tempo, uma vez que os *layers* utilizados para cruzamento dos dados consistem em formato *shape*, não permitindo a análise espacial convencional, realizada através de arquivos em formato *raster*. Em contrapartida, a metodologia utilizada neste trabalho – modelagem por sobreposição ponderada – refletiu em uma redução no tempo de execução das tarefas em SIG.

É cabível salientar que a modelagem com base em sobreposição de pesos requer o conhecimento da técnica utilizada, bem como, reflete o julgamento dos especialistas a respeito da análise a ser realizada, podendo ser ajustada facilmente. Entretanto, trata-se de uma técnica de natureza linear, que possui como limitação o fato de considerar os pesos atribuídos como constantes ao longo do plano de informação, o que, por vezes, faz com que certos parâmetros tenham menor importância em determinadas regiões, interferindo no resultado final da análise (MEIRELLES, MOREIRA E CÂMARA, 2007).

Nesse sentido, é importante lembrar que um modelo busca representar uma aproximação da realidade, e, o avanço no desenvolvimento de novas técnicas é bastante relevante para o aprimoramento das pesquisas ambientais e como contribuição à elaboração de planos territoriais

na esfera do poder público. Este trabalho buscou, portanto, a representação da fragilidade ambiental da bacia do Médio-baixo Curso do Rio Araguari, bem como, a demonstração de aplicação da técnica de sobreposição ponderada, uma ferramenta prática, porém, que deve ser utilizada com precaução devido as suas limitações.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Aliado à aplicação de técnicas de geoprocessamento, com a utilização de produtos cartográficos e SIGs, o trabalho correspondeu às expectativas almejadas diante dos objetivos propostos. Foi possível realizar a análise empírica da fragilidade ambiental da área de estudo, por meio do cruzamento das informações sobre os elementos físicos (rochas, relevos e solos), dos elementos antrópicos (uso da terra) e da vegetação, que permitiram sintetizar e representar a situação ambiental atual da referida área.

A análise da fragilidade potencial contribuiu para o entendimento da vulnerabilidade natural da bacia, mais acentuada nos fundos dos vales e nas áreas de modelados mais dissecados. O cruzamento dessas informações com as de uso da terra e cobertura vegetal indicou a fragilidade emergente, a qual situa a influência da ocupação humana sobre o meio. Foi a partir dessa carta síntese que se chegou ao diagnóstico do comprometimento dos recursos na bacia, tendo em vista a sua aplicação para o desenvolvimento de planos e ações que mitiguem ou

corrijam os impactos dos usos inapropriados e prezem pela valorização e conservação dos ambientes que ainda estão preservados.

É necessário atentar, principalmente, ao comprometimento dos recursos hídricos, uma vez que estes possuem múltiplos usos na região. É salutar o respeito às normas ambientais voltadas à utilização desses recursos, bem como, o gerenciamento do espaço geográfico em busca do menor impacto possível, uma vez que qualquer atividade, por mínima que seja, não é desprovida de potencial impactante.

Em suma, cabe ressaltar o papel de contribuição a esses estudos, exercido pelas geotecnologias. É louvável o investimento no desenvolvimento de técnicas e ferramentas que permitam uma aplicabilidade nos ensaios e estudos ambientais.

6. AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Ciência e Tecnologia – CNPq pelo apoio a este trabalho através do projeto 473701/2010-3.

REFERÊNCIAS

AB' SABER, A. N. Um conceito de Geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o quaternário. **Geomorfologia**, São Paulo: IGEOG-USP, n.18, p. 1-23. 1969.

BACCARO, C. A. D. Processos erosivos no Domínio do Cerrado. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Org.). **Erosão e Conservação dos Solos: conceitos, temas e aplicações**. 1. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 1999. p. 195-227

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. (Org.), **Geoprocessamento para Projetos Ambientais**. 2. ed. São José dos Campos: INPE. 1998. 188p. Disponível em: <dpi.inpe.br/gilberto/tutoriais/gis_ambiente/>. Acesso em: out. 2010.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher. 1999. 236p.

CLEPS JUNIOR, J.; PESSÔA, V. L. S.; GOBBI, W. A. O. Gestão dos recursos hídricos em Minas Gerais: O Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari. In: LIMA, S. do C.; SANTOS, R. J. (Org.) **Gestão Ambiental da bacia do Rio Araguari** – rumo ao desenvolvimento sustentável. Uberlândia, Universidade Federal de Uberlândia / Instituto de Geografia; Brasília: CNPq. 2004. p. 163 – 184.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; HERNANDEZ FILHO, P.; 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. Disponível em: <dsr.inpe.br/dsr/simeao/Publicacoes/SERGISZE E3.pdf>. Acesso em: set. 2010.

CRUZ, L. M.; PINESE JUNIOR, J. F.; RODRIGUES, S. C. Abordagem Cartográfica da Fragilidade Ambiental na Bacia Hidrográfica do Glória – MG. **Revista Brasileira de Cartografia**. n. 62, v. 3, p. 505-516. 2010. Disponível em: <rbc.ufrj.br/_2010/62_3_05.htm>. Acesso em: fev. 2011.

ESRI. ArcGIS 9.2 Desktop Help. **Weighted Overlay**. 2008. Disponível em: <webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=weighted_overlay>. Acesso em: 01 nov. 2010.

GUERRA, A. J. T. Processos Erosivos nas Encostas. In: GUERRA, A. J.T.; CUNHA, S. B. (Org.), **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 7. ed., Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 2007.

MACHADO, R. B.; RAMOS NETO, M.B.; PEREIRA, P.; CALDAS, E.; GONÇALVES, D.; SANTOS, N.; TABOR, K.; STEININGER, M. **Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro**. Conservation International do Brasil, Brasília. 2004. Disponível em: <conservation.org.br/arquivos/RelatDesmatamCerrado.pdf>. Acesso em: 29 set. 2010.

MEIRELLES, M. S. P.; MOREIRA, F. R.; CÂMARA, G. Técnicas de Inferência Espacial. In: MEIRELLES, M. S. P.; CÂMARA, G.; ALMEIDA, C. M. **Geomática: Modelos e Aplicações Ambientais**. Brasília, DF: EMBRAPA Informação Tecnológica. 2007. p. 106-189.

PEDROSA, A. S. **A integração da prevenção dos riscos no ordenamento territorial**. Artigo elaborado com base na comunicação apresentada no Colóquio sobre “Paisagem, Patrimônio e Riscos Naturais: perspectivas de planejamento comparado”, Porto – Portugal. 2006. Disponível em: <web.lettras.up.pt/aspedros/A%20integra%C3%A7%C3%A3o%20da%20preven%C3%A7%C3%A3o%20dos%20riscos%20no%20ordenamento%20territorial.pdf>. Acesso em: 14 jun. 2010.

PEDROSA, A. S.; PEREIRA, A. A integração das formações superficiais na modelação e cartografia do risco geomorfológico: o caso da Serra do Marão. **Revista Sociedade e Natureza**. Ano 23 n. 3, p. 529-544. 2011.

RODRIGUES, S. C. **Análise Empírico-Experimental da Fragilidade Relevo-Solo no Cristalino do Planalto Paulistano**: sub bacia do reservatório Billings. 1998. 265 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1998.

ROSA, R. **Cartografia Básica**. Universidade Federal de Uberlândia. Instituto de Geografia. Uberlândia: Laboratório de Geoprocessamento. 2004. 72p.

_____. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. 6. ed., Uberlândia: Edufu. 2007. 248p.

ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos geomorfológicos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, n.6, São Paulo: Edusp, p. 17-30. 1992.

_____. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, n.8, São Paulo: Edusp, p. 63-74. 1994.

SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos. 184p. 2004.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: FIBGE / SUPREN. 1997. 97p.