



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS  
AMBIENTAIS**



**PEDRO ALVES VIEIRA**

**DINÂMICA DE OCUPAÇÃO, VULNERABILIDADES E CENÁRIOS  
PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO VERMELHO, GOIÁS**

Goiânia

2013

PEDRO ALVES VIEIRA

**DINÂMICA DE OCUPAÇÃO, VULNERABILIDADES E CENÁRIOS  
PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO VERMELHO, GOIÁS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Goiás, como pré-requisito para a obtenção do título de Doutor em Ciências Ambientais.

**Orientador:** Prof. Dr. Laerte Guimarães Ferreira Jr.

**Co-orientador:** Prof. Dr. Fausto Miziara

Goiânia

2013

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**GPT/BC/UFG**

Vieira, Pedro Alves.

V658d      Dinâmica de ocupação, vulnerabilidades e cenários para  
bacia hidrográfica do Rio Vermelho, Goiás [manuscrito] /  
Pedro Alves Vieira. – 2013.  
94 f. : figs, tabs.

Orientador: Prof. Dr. Laerte Guimarães Ferreira Júnior.  
Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Goiás,  
Instituto de Ciências Biológicas, 2013.

Bibliografia.

Apêndices.

1. Bioma cerrado – Vulnerabilidade. 2. Cerrado – Solo –  
Uso. I. Título.

CDU: 556.53(213.54)

PEDRO ALVES VIEIRA

**DINÂMICA DE OCUPAÇÃO, VULNERABILIDADES E CENÁRIOS  
FUTUROS PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO VERMELHO,  
GOIÁS**

Tese a ser apresentada no âmbito do Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Ciências Ambientais, da Universidade Federal de Goiás, para a obtenção do grau de Doutor, defendida em \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2013, perante a Banca Examinadora constituída pelos seguintes professores:

---

Dr. Laerte Guimarães Ferreira Jr. – UFG  
Presidente

---

Dr. Edson Eyji Sano – EMBRAPA CERRADOS  
Membro titular interno

---

Dra. Francis Lee Ribeiro – UFG  
Membro titular interno

---

Dr. Maximiliano Bayer – UFG  
Membro titular externo

---

Dr. Renato Fontes Guimarães – UnB  
Membro titular externo

---

Dr. Ivanilton José de Oliveira. – UFG  
Suplente Externo

---

Dr. Nilson Clementino Ferreira. – UFG  
Suplente interno

Dedico esta tese a minha esposa Arlete, grande estudiosa das questões ambientais no âmbito do direito e grande incentivadora das necessidades de mudanças, leitora fervorosa e entusiasta do trabalho. À minha filhota Júlia, a qual sempre me recebia com sorriso e abraços. Aos compadres historiadores Prof. Dr<sup>a</sup>. Maria da Conceição Silva e ao compadre “fictício” Prof. Dr. Raimundo Pessoa pelas leituras. A todos meus amigos do LAPIG. Aos meus pais Aluizio e Maria (*in memoriam*), aos meus irmãos Lindalva, Paulo, Rosimeire e em especial ao João Batista, exemplo de pessoa, ética, moral, simplicidade e acima de tudo um grande lutador, com certeza meu norte ao longo de toda minha caminhada.

## AGRADECIMENTOS

Manifesto minha gratidão à todas as pessoas que estiveram presentes direta ou indiretamente neste processo. Gostaria de expressar especiais agradecimentos:

Primeiramente a Deus, por ter me proporcionado muita perseverança para chegar até o final.

Aos meus amigos que conquistei Marlon Nemayer, Luiz Machado, Fanuel Nogueira Garcia, Genival Fernandes Rocha, Wanessa Campos Silva, Juliana Ferreira Leite, Elaine Barbosa da silva, Arielle Elias Arantes, Fernando Moreira de Araújo, Janete Rêgo Silva, Silvio Braz de Sousa, Roberto Urzêda, Pablo Santana Santos, Antônio Fernandes dos Anjos, pelo apoio incondicional e entusiasta da pesquisa.

Ao meu orientador Prof. Dr. Laerte G. Ferreira, por tanta paciência, dedicação e muitas sugestões criativas, desempenhando assim uma orientação impecável durante toda a pesquisa.

Ao meu co-orientador Prof. Dr. Fausto Miziara pela participação ativa em todo o processo de pesquisa.

Aos professores do Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Ciências Ambientais pela contribuição que me foi dada.

Ao funcionário do Programa, Noé Guedes (*in memorian*), pela atenção, carinho e dedicação de como construía seu ofício de secretário para com todos.

Ao Laboratório de Processamento Digital de Imagens – LAPIG, por todo apoio de infraestrutura que me foi dado. Em especial, aos colegas do LAPIG Fernando Moreira, Janete Silva, Elaine Silva, Marlon Nemayer, Genival Fernandes, Luiz Machado, Arielle Arantes, Fanuel Nogueira Garcia, Prof. Dr. Manuel Eduardo Ferreira e Prof. Dr. Nilson Clementino Ferreira.

Por fim, agradeço aos órgãos financiadores que me proporcionaram bolsa de pesquisa e ajuda de custo para participação em eventos, durante todo desenvolvimento do trabalho: CNPq, CAPES (Coordenação de Pessoal de Nível Superior), FAPEG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás), FUNAPE (Fundação de Apoio a Pesquisa) e a UEG (Universidade Estadual de Goiás - Unidade Cidade de Goiás) pela permissão ao meu afastamento.

## RESUMO

O processo histórico de ocupação e uso das terras no bioma Cerrado tem sido acompanhado por diferentes taxas e níveis de conversão de sua cobertura vegetal. Levantamentos recentes indicam que aproximadamente 50% da sua cobertura original já foram transformados pela agricultura e pecuária em escala industrial. Este processo de ocupação em Goiás tem início com a mineração, ainda no século XVIII. Contudo, as primeiras políticas de desenvolvimento só começam a acontecer a partir de 1940, no Governo de Getúlio Vargas, sendo que as principais transformações das paisagens do bioma Cerrado advém do uso da terra em grande escala, o que passa a acontecer efetivamente a partir da década de 1960, com o Plano de Metas implantado no Governo de Juscelino Kubitschek. Em face desta dinâmica histórica de uso e ocupação, ora avançando por sobre áreas de alta vulnerabilidade natural, é que o Cerrado experimenta uma grande perca de qualidade ambiental. Assim, em solo goiano, o trecho médio do Rio Araguaia apresenta um estoque de sedimentos arenosos na ordem de 200 milhões de toneladas, enquanto que a bacia hidrográfica do Rio Vermelho, em particular, apresenta uma perda estimada de sedimentos siltico/argiloso/ano na ordem de ~ 2.000.000 de toneladas. Dentro deste contexto, este trabalho, com base em dados de campo, censitários e imagens orbitais de diferentes épocas e resoluções, integrados e analisados através de técnicas de geoprocessamento e modelagem de cenários, buscou identificar, para a totalidade da bacia do Rio Vermelho (aproximadamente 11.000 km<sup>2</sup>), diferentes níveis de vulnerabilidade natural (tendo por referência o mapeamento da entropia do relevo e dos principais padrões tectônicos e fisiográficos), em relação aos processos de ocupação, em quatro períodos distintos (1976, 1987, 2002 e 2008). Até o momento, 65% da área total da bacia já foram convertidos, sendo que o passivo ambiental, em torno de rios, lagos e nascentes, é de aproximadamente 40% das áreas consideradas sob proteção permanente. Especificamente para as áreas de maior vulnerabilidade, este passivo é da ordem 9%. A análise de dois momentos de ocupação, i.e. 1976 (início) e 1987 (fim) sugere que a fertilidade do solo e frentes de ocupação já estabelecidas são fatores determinantes para os destinos da bacia no que concerne o avanço da ocupação antrópica.

**Palavras-chave:** vulnerabilidade, uso e ocupação, modelagem dinâmica, bioma Cerrado.

## ABSTRACT

The historical process of occupation and land use in the Cerrado biome has been accompanied by different rates and conversion levels. Recent surveys indicate that about 50% of the original Cerrado cover has been already converted to large-scale agriculture. In Goiás, this process started with the mining activity, in the early XVIII century. However, the first governmental development policies start only in the early 40's, under the govern of Getulio Vargas, and only in the 60's, with the goals set by President Juscelino Kubitschek, became trully effective. In face of the historical land use dynamics, eventually over highly vulnerable areas, the Cerrado suffered a significant loss in environmental quality. An example in this direction is the medium Araguaia basin, which presents a stock of sandy sediments of about 200 million tons, in part fed by the upper Rio Vermelho basin, where sediment loss reaches 2 million tons a year. Within this context, this study, based on field, census, and orbital data (from different acquisition periods and with different resolutions), integrated and analyzed via GIS and scenario modelling techniques, pursued the identification, for the total area of the Rio Vermelho basin (nearly 11,000 km<sup>2</sup>), of different classes of natural vulnerability (relying on the mapping of entropy levels, as well as on tectonic and physiographic patterns), relatively to the occupation process, in four distinct periods (1976, 1987, 2002 e 2008). Approximately 65% of the basin area has been converted, which caused a severe environmental impact, affecting ~40% of the permanent protected areas (mainly around springs, lakes, and rivers), as well as ~9% of highly vulnerable areas. The occupation analysis for two distinct periods, i.e. 1976 (start) and 1987 (end), suggests that soil fertility and occupation fronts already established are the dominant factors controlling the basin fate, with new occupations being directed and concentrated along the main road network.

**Key-words:** vulnerability, land-use, dynamic modelling, Cerrado biome.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.1</b>	Classes de vulnerabilidade da paisagem a partir da análise integrada de elementos naturais e antrópicos.....	17
<b>Figura 2.1</b>	Mapa de localização da bacia do Rio Vermelho no Estado de Goiás, com destaque para os municípios que intersectam ou integram os seus limites.....	20
<b>Figura 2.2</b>	Precipitação média mensal (2000 a 2010) para toda a região delimitada pela bacia do Rio Vermelho (dados TRMM).....	24
<b>Figura 2.3</b>	Relação entre cota (Rio Vermelho, Balneário Cachoeira Grande, Cidade de Goiás) e precipitação, para o período entre 1996 e 2001 (média mensal).....	25
<b>Figura 2.4</b>	Cobertura e uso do solo na bacia do Rio Vermelho em 2008.....	27
<b>Figura 2.5</b>	Variação hipsométrica na bacia do vermelho (dados SRTM), comparativamente às superfícies de aplainamento e lineamentos estruturais.....	28
<b>Figura 2.6</b>	Mapa de entropia do relevo para a bacia do Rio Vermelho, Goiás-GO.....	30
<b>Figura 2.7</b>	Região sudeste da bacia (alta hipsometria), com destaque para o perfil do saprolito em várias posições na superfície de aplainamento SA1.....	31
<b>Figura 2.8</b>	Superfície de Aplainamento SA2, região noroeste da bacia, com o predomínio de hipsometrias médias .....	32
<b>Figura 2.9</b>	Superfície de Aplainamento SA2 (hipsometria média), predomínio de pastagens nativas, classes de entropia media a alta e vulnerabilidade a processos erosivos .....	33
<b>Figura 2.10</b>	Classes de entropia (%) por município e conforme superfícies de aplainamento .....	34
<b>Figura 3.1</b>	Localização da bacia do Rio do Vermelho (região noroeste do estado de Goiás) .....	41
<b>Figura 3.2</b>	Fluxograma esquemático dos dados e procedimentos utilizados na elaboração desse estudo .....	44

<b>Figura 3.3</b>	Mapa de uso e cobertura vegetal da terra para a bacia hidrográfica do Rio Vermelho para os anos de 1976 (A) e 1987 (B) .....	45
<b>Figura 3.4</b>	Evolução da ocupação e uso das terras na bacia do Rio Vermelho, entre o período de 1976 a 2008 .....	48
<b>Figura 3.5</b>	Mapa de uso e cobertura vegetal da terra para a bacia hidrográfica do Rio Vermelho para os anos de 2002 (A) e 2008 (B) .....	49
<b>Figura 3.6</b>	Lotação bovina nos diferentes municípios que integram a bacia do Rio Vermelho .....	50
<b>Figura 3.7</b>	Correlação entre Passivo Ambiental e pastagem cultivada por município .....	52
<b>Figura 3.8</b>	Perfil transversal da bacia hidrográfica do Rio vermelho e processos de antropização .....	53
<b>Figura 3.9</b>	Perfil longitudinal da bacia hidrográfica do Rio vermelho e processos de antropização .....	54
<b>Figura 3.10</b>	Perda de solo por processo erosivo laminar na alta bacia do Rio Vermelho .....	55
<b>Figura 3.11</b>	Carga de fundo na média bacia do Rio Vermelho.....	56
<b>Figura 4.1</b>	Mapa de Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho (A), com destaque para as variáveis declividade (B), uso do solo em 1976 e 1987 (C e E), solo (D) .....	64
<b>Figura 4.2</b>	Variação hipsométrica na bacia do vermelho (dados SRTM), comparativamente às superfícies de aplanaimento e lineamentos estruturais .....	66
<b>Figura 4.3</b>	Modelo plataforma DINAMICA .....	68
<b>Figura 4.4</b>	Evolução da malha viária .....	71
<b>Figura 4.5</b>	Relação pastagem x pecuária na Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho, em três momentos: 1970, 1975 e 1985 .....	72
<b>Figura 4.6</b>	Frentes de ocupação na Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho .....	75
<b>Figura 4.7</b>	Modelo de ocupação e uso para o bioma Cerrado/Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho .....	76

<b>Figura 4.8</b>	Região sudeste da bacia hidrográfica do Rio Vermelho, com destaque para o uso de pecuária em pastagens integradas (pastagem cultivada, natural e remanescente de Cerrado) sobre Cambissolos, durante a primeira frente de ocupação .....	76
<b>Figura 4.9</b>	Superfície de Aplainamento SA2 (hipsometria média), com predomínio de pastagens nativas e remanescentes de Cerrado sobre Cambissolos, durante a primeira frente de ocupação .....	77
<b>Figura 4.10</b>	Superfície de Aplainamento SA2, região noroeste da bacia hidrográfica do Rio Vermelho, com o predomínio de pastagem cultivada sobre Latossolos, durante a segunda e terceira frente de ocupação .....	77
<b>Figura 4.11</b>	Correlação dos solos Cambissolos versus Uso do solo versus Declividade .....	81

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 3.1</b>	Evolução da ocupação e usos das terras na bacia do rio vermelho .....	48
<b>Tabela 3.2</b>	Passivo ambiental da bacia do rio vermelho – rios, lagos, nascentes ....	51
<b>Tabela 3.3</b>	Passivo Ambiental em Terrenos com Inclinação >45º e entre 25º - 45º	51
<b>Tabela 4.1</b>	Valores de área e correlação das classes de solo com a ocupação na bacia hidrográfica do Rio Vermelho .....	78
<b>Tabela 4.2</b>	Valores de correlação entre as classes de distâncias de frentes de conversão e de rodovias com a ocupação na bacia hidrográfica do Rio Vermelho .....	80
<b>Tabela 4.3</b>	Distribuição das áreas de uso antrópico e remanescentes na bacia hidrográfica do Rio Vermelho, sobre solos do tipo Cambissolo .....	81

## SUMÁRIO

<b>APRESENTAÇÃO .....</b>	13
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	15
<b>2. ANÁLISE DA VULNERABILIDADE NATURAL DA PAISAGEM EM RELAÇÃO AOS DIFERENTES NÍVEIS DE OCUPAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO VERMELHO, ESTADO DE GOIÁS .....</b>	19
2.1. Introdução .....	19
2.2. Área de Estudo .....	20
2.2.1. Aspectos Geológicos .....	21
2.2.2. Aspectos Geomorfológicos .....	21
2.2.3. Aspectos Pedológicos .....	23
2.2.4. Aspectos Climáticos .....	23
2.2.5. Aspectos Hidrológicos .....	25
2.2.6. Aspectos de Uso e Ocupação .....	25
2.3. Desenho Experimental .....	27
2.4. Resultados e Discussões .....	29
2.5. Considerações .....	35
2.6. Referências Bibliográficas .....	36
<b>3. EVOLUÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO VERMELHO, ESTADO DE GOIÁS .....</b>	39
3.1. Introdução .....	39
3.2. Área de Estudo .....	40
3.3. Desenho Experimental .....	41
3.4. Resultados e Discussões .....	44
3.4.1. Análise da Conversão da Paisagem na Bacia do Rio Vermelho .....	44
3.4.2. Vulnerabilidade e Entropia da Paisagem da Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho .....	52
3.5. Considerações .....	57
3.6. Referências bibliográficas .....	57
<b>4. OCUPAÇÃO E USO DA TERRA NA BACIA DO RIO VERMELHO: ARTICULAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS “NATURAIS” E “ANTRÓPICAS”.</b>	61
4.1. Introdução .....	61
4.2. Materiais e Métodos .....	62
4.2.1. Área de Estudo .....	62
4.2.2. Bases de Dados e Procedimentos .....	65
4.3. Resultados e Discussões .....	68

4.4. Considerações .....	82
4.5. Referências Bibliográficas .....	83
5. CONSIDERAÇÕES GERAIS .....	87
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>88</b>
<b>APÊNDICE 1 Mapa de Entropia do Relevo.....</b>	<b>90</b>
<b>APÊNDICE 2 Mapa de Cobertura e Uso da terra – 1976 .....</b>	<b>91</b>
<b>APÊNDICE 3 Mapa de Cobertura e Uso da terra – I987 .....</b>	<b>92</b>
<b>APÊNDICE 4 Mapa de Cobertura e Uso da terra – 2002 .....</b>	<b>93</b>
<b>APÊNDICE 5 Mapa de Uso e Cobertura da terra – 2008 .....</b>	<b>94</b>

## APRESENTAÇÃO

A presente tese de doutorado, realizada no âmbito do Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Ciências Ambientais, segue o estilo de tese em formato de artigos científicos e foi organizada da seguinte forma: 1) Introdução - onde consta uma descrição geral do tema tratado na tese, a problematização apresentada em forma de questões científicas, bem como as hipóteses e os objetivos; 2) Desenvolvimento da tese, que compreende três artigos, resultados direto da pesquisa, os quais buscam responder as perguntas que norteiam este doutorado; 3) Considerações Gerais, onde são integrados todos os resultados obtidos no desenvolvimento da tese; 4) Apêndices - onde constam os documentos cartográficos referentes aos mapas de cobertura e uso das terras para bacia hidrográfica do Rio Vermelho para quatro períodos: 1976, 1987, 2002 e 2008.

A revisão de literatura, os procedimentos metodológicos, os resultados e as discussões constam dos artigos, elaborados de forma integrada e sequencial.

O primeiro artigo - ANÁLISE DA VULNERABILIDADE NATURAL DA PAISAGEM EM RELAÇÃO AOS DIFERENTES NÍVEIS DE OCUPAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO VERMELHO, ESTADO DE GOIÁS – foi elaborado considerando a totalidade bacia hidrográfica do Rio Vermelho como recorte espacial, tendo em vista sua importância quanto à ocupação e ao uso da terra, e estar totalmente inserida no bioma Cerrado. Utilizando-se de dados altimétricos disponibilizadas por meio do projeto Global Digital Elevation Model (Aster/GDEM), e considerando-se operações de vizinhança em uma matriz de convolução quadrada de dimensão ( $n \times n$ ), cuja célula central é classificada conforme a probabilidade da mesma ocorrer em outros locais da área compreendida pelo MDE procedeu-se à determinação das entropias do relevo, as quais foram diretamente correlacionadas a diferentes classes de vulnerabilidade natural da paisagem.

O segundo artigo - EVOLUÇÃO DA OCUPAÇÃO E USO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO VERMELHO, ESTADO DE GOIÁS - foi desenvolvido tendo o primeiro artigo como base, cujas variáveis e parâmetros analisados e validados foram utilizados na compreensão da dinâmica de ocupação e uso da terra do Cerrado na bacia hidrográfica do Rio Vermelho para os anos de 1976, 1987, 2002 e 2008. Especificamente, este artigo buscou compreender o avanço da área convertida relativamente às diferentes classes de vulnerabilidade. Assim, foi possível tanto o entendimento da dinâmica de ocupação, bem como avaliar o passivo ambiental gerado, em função da atividade antrópica em áreas de elevada vulnerabilidade natural e/ou de proteção permanente.

O terceiro artigo - OCUPAÇÃO E USO DA TERRA NA BACIA DO RIO VERMELHO: ARTICULAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS “NATURAIS” E “ANTRÓPICAS” – teve por referência tanto as variáveis naturais discutidas no primeiro artigo, quanto o entendimento da dinâmica de ocupação (e impactos resultantes) obtido com o primeiro artigo. Especificamente, a partir de uma ferramenta de modelagem dinâmica utilizando e considerando dois tempos conhecidos, i.e. T1 (tempo início – ano de 1976) e T2 (tempo fim – ano de 1987) buscou-se a compreensão das articulações que ocorrem entre as variáveis naturais e antrópicas no processo de ocupação e uso das terras, com vistas à melhor parametrização da modelagem dinâmica para cenários futuros de conversão de paisagens no bioma Cerrado.

## 1 INTRODUÇÃO

O Cerrado, o segundo maior bioma da América do Sul, com uma área de aproximadamente 2.000.000 de km<sup>2</sup> (24% do território nacional), é reconhecido mundialmente como um dos mais importantes ecossistemas em face da sua biodiversidade (RATTER et al., 1997; MYERS et al., 2000) e recursos hídricos (COSTA et al., 2003; LIMA; SILVA, 2008).

Inserido neste bioma com mais de 70% de sua área, a região Centro – Oeste, compreende 18,8% do território nacional e abriga cerca de 11,6 milhões de habitantes (IBGE, 2000). Destes, o Estado de Goiás, com 340.117,60 Km<sup>2</sup>, encontra-se quase em sua totalidade inserido no Cerrado, ocupando aproximadamente 20% da área total desse bioma. Em Goiás, 2.174,85 mil hectares (~6% do estado) são ocupados com lavouras temporárias ou permanentes, as pastagens ocupam 19.404,69 mil hectares (~57% do estado), sendo que deste total, 15% correspondem às pastagens naturais e as matas naturais ocupam 3.774,65 mil hectares (~11% do estado) (IBGE, 1997; SANO, 2008).

Em fato, o Cerrado, como um todo, passa por um acelerado processo de conversão de sua cobertura vegetal, conforme indica o mapeamento realizado no âmbito do Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira - PROBIO (SANO et al., 2010), cujos dados mostram uma redução da cobertura vegetal remanescente deste bioma na ordem de 42% (~ 800 mil km<sup>2</sup>).

O processo histórico de ocupação tem início com a mineração, a partir da descoberta do minério de ouro no séc. XVIII, nos estados de Goiás e Mato Grosso (PALACÍN; AUGUSTA, 1994; 1995; ESTEVAM, 1998). Entretanto, as primeiras políticas de desenvolvimento no Cerrado surgem apenas a partir de 1940, no Governo de Getúlio Vargas, com a criação do Projeto de Colonização nos Cerrados e com o estabelecimento de colônias agrícolas em Dourados, no Mato Grosso do Sul, e Ceres, em Goiás (SHIKI, 1997). Transformações da paisagem em larga escala acontecem efetivamente a partir da década de 1960, com o Plano de Metas implantado no Governo de Juscelino Kubitschek, sendo que é neste contexto de desenvolvimento, modernização e integração do território brasileiro que o Cerrado experimenta taxas crescentes de conversão da cobertura vegetal natural voltada à agricultura e pecuária em escala industrial.

Portanto, o modelo de ocupação e uso do Cerrado, segue os moldes de conversão da cobertura vegetal com vistas para a prática de agricultura e pecuária em áreas cada vez maiores, na tentativa de elevar a capacidade de produção de grãos e de lotação bovina para a produção de carne e leite, bem como efetivar a posse de áreas rurais, desencadeando

problemas ambientais em diferentes níveis e nas mais variadas escalas (MIZIARA; FERREIRA, 2008; KLINK; MACHADO, 2005).

Em face desta dinâmica histórica de ocupação, ora avançando por sobre áreas de alta vulnerabilidade natural, é que o Cerrado passa por grande perda de qualidade ambiental, seja do ponto de vista abiótico (solo e água) e/ou biótico (fauna e flora), econômica, com a perda da capacidade de suporte de produtividade, e social, principalmente por conta dos impactos sobre a agricultura familiar, em particular no âmbito dos programas de assentamentos, que buscam a fixação dos povos do Cerrado na zona rural.

Desta forma, este trabalho, baseado em uma ampla gama de dados de campo, censitários e satelitários, integrados e analisados em um ambiente de sistemas de informações geográficas, bem como em uma plataforma de modelagem dinâmica (Dinâmica EGO), teve por objetivo identificar, para a bacia hidrográfica do Rio Vermelho no Estado de Goiás, as paisagens mais vulneráveis do ponto de vista natural (i.e. aquelas com maior entropia de relevo) e os processos de ocupação e uso das terras sobre estas paisagens. Especificamente, e de forma inovadora, buscamos correlacionar os elementos da paisagem natural, principalmente aqueles diretamente relacionados à Geologia da área, à qual estão subordinados o padrão tectônico, as formas de relevo, o solo e a rede de drenagem, com as variáveis antrópicas, representadas pelo uso das terras e infraestrutura associada.

Conforme mostrado na (Figura 1), estas relações constituem uma matriz, na qual cada célula corresponde a um cenário de vulnerabilidade. Por exemplo, na célula identificada pela sequência de algarismos 1111, o primeiro número, 1, identifica áreas de baixa entropia (i.e. alta vulnerabilidade natural), o segundo número, 1, corresponde a uma superfície de cimeira entre 800 e 1080 metros de altitude, o terceiro número, 1, corresponde às áreas com granito-gnaisses aflorantes, e o quarto número, 1, corresponde às áreas de uso sobre pastagens nativas. Esta área, apesar da baixa entropia, pode ser considerada como em estado de equilíbrio, haja vista a geologia cristalina e o uso de baixo impacto. Contudo, a mesma situação, com apenas a mudança de uso de pastagem natural para pastagem cultivada (i.e. célula básica 1112), que resulta em solos mais compactados, torna a área bastante vulnerável, principalmente aos processos de inundação. Em particular, esta é situação da Cidade de Goiás, Patrimônio Histórico da Humanidade, em constante estado de risco e alerta.

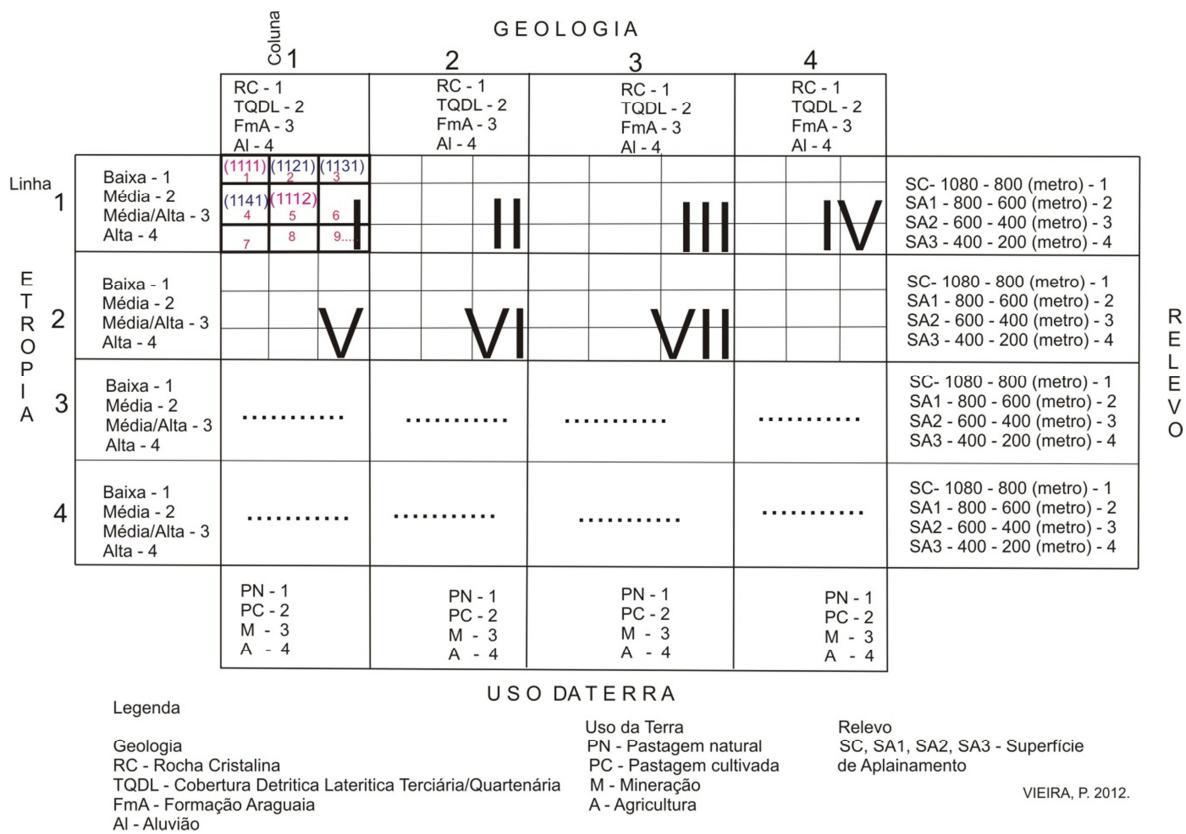


Figura 1.1 – Classes de vulnerabilidade da paisagem a partir da análise integrada de elementos naturais e antrópicos

Com base neste modelo conceitual, procedeu-se à modelagem da paisagem, com o objetivo de se entender a influência de cada variável, antrópica ou natural, no processo dinâmico de ocupação da bacia hidrográfica do Rio Vermelho. Na alta bacia, por exemplo, o processo histórico de ocupação produz cerca de ~ 2.000.000 de toneladas de sedimentos siltico/argiloso que entram no sistema hidrológico anualmente, que causam, entre outros, o aterrramento do solo em fundos de vales, assoreamento e contaminação dos sistemas fluviais e lacustres, desestabilização de cóluvios em encostas, perca da camada fértil de solo e cheias recorrentes. Neste contexto, esta tese de doutorado buscou responder às seguintes questões:

1 – Na bacia hidrográfica do Rio Vermelho, como se dá a distribuição das classes de vulnerabilidade natural da paisagem? (esta pergunta é respondida pelo primeiro artigo);

2 – Como as classes de vulnerabilidade se relacionam às principais litologias e padrões tectônicos? (esta pergunta também é respondida pelo primeiro artigo);

3 – A ocupação e uso da bacia se deram em fases distintas? Como a dinâmica e taxas de ocupação variaram ao longo do tempo e do espaço? (estas perguntas são respondidas pelo segundo artigo);

4 – Como a conversão e ocupação da bacia se processaram em relação à vulnerabilidade natural das paisagens? (esta pergunta também é respondida pelo segundo artigo);

5 – Com base nos processos históricos e padrões de ocupação é possível identificar, através da modelagem dinâmica da paisagem, os principais vetores de conversão? (esta pergunta é respondida pelo terceiro artigo).

Esta pesquisa, por sua vez, centra-se em torno das seguintes hipóteses:

1 – A entropia é um indicador consistente da vulnerabilidade natural da paisagem;

2 – Áreas de baixo potencial erosivo podem apresentar vulnerabilidades elevadas;

3 – A ocupação da bacia priorizou, progressivamente, áreas de baixa e média vulnerabilidade;

4 – A ocupação de áreas de média e alta vulnerabilidade constitui uma boa estimativa do passivo ambiental na bacia do Rio Vermelho;

5 – A influência de cada variável, natural ou antrópica, pode ser determinada a partir de modelagem logística, tendo por base a taxa e os padrões de ocupação (históricos e em curso).

Quanto aos objetivos principais desta tese, estes abrangem:

1 – Obtenção de mapas de vulnerabilidade natural, à escala da paisagem, a partir de análise de entropia derivada de modelos digitais de elevação;

2 – Validação e refinamento das classes de vulnerabilidade a partir da análise integrada de dados de campo (lito-estruturais) e imagens orbitais;

3 – Organização de mapas de ocupação e uso das terras na bacia, à escala de 1:100.000, para quatro períodos distintos: 1976, 1987, 2002 e 2008;

4 – Análise dos processos de ocupação em relação às classes de vulnerabilidade natural das paisagens;

5 – Análise dinâmica da paisagem, conforme intervalos conhecidos, i.e. T1(tempo início) e T2(tempo fim), e taxas e padrões de ocupação mapeados.

## **2 ANÁLISE DA VULNERABILIDADE NATURAL DA PAISAGEM EM RELAÇÃO AOS DIFERENTES NÍVEIS DE OCUPAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO VERMELHO, ESTADO DE GOIÁS<sup>1</sup>**

### **2.1 INTRODUÇÃO**

O Estado de Goiás, com 340.117,60 Km<sup>2</sup>, encontra-se completamente inserido no bioma Cerrado, representando, portanto, cerca de 20% dos estimados dois milhões de Km<sup>2</sup> deste importante bioma. Os terrenos Arqueanos que sustentam o bioma Cerrado, localizados em território goiano, perfazem cerca de 20.000 km<sup>2</sup> do chamado “Maciço de Goiás”, recobrindo uma faixa entre 16° e 14° de latitude sul e 49° a 51° de longitude oeste, desde a cidade de Mossamedes, ao sul, até Santa Terezinha de Goiás, ao norte, dos quais, aproximadamente, 80% são complexos granito-gnáissicos e 20% *greenstone belts* (TEIXEIRA, 1981; MONTALVÃO, 1985; RESENDE, 1998; HARD et al., 2005). Podemos dizer que o “maciço de Goiás” carrega uma alta geodiversidade, em função de uma história geológica muito antiga, a qual imprimiu características morfológica, pedológica e de estruturação tectônica e hidrológica peculiares. Por isso, possui alto potencial mineral (TOMAZZOLI, 1985; FORTES, 1995; RESENDE, 1998), associado, principalmente, às rochas supracrustais e figura, desde o início da história de ocupação do Cerrado, como principal atrativo da mineração, que teve seu início com a descoberta do minério de ouro, já no séc. XVIII (ESTEVAM, 1998).

A bacia hidrográfica do Rio Vermelho, foco deste estudo, localiza-se na região oeste do Estado de Goiás, ocupando uma área de 10.824,60 km<sup>2</sup>, dos quais, aproximadamente 5.000 km<sup>2</sup> encontram-se sobre terrenos arqueanos granito-gnáissicos e *greenstone belts*. Por outro lado, toda a parte baixa e média da bacia, o que equivale a aproximadamente 50% da sua área, tem no seu arcabouço geológico uma cobertura detritica-laterítica de idades Terciárias/Quaternárias, sedimentos arenosos da formação Araguaia do Quaternário e depósitos arenosos inconsolidados de planície aluvial de idade holocênica (VALENTE, 2007). Aliada a esta complexa história geológica, ressalta-se a longínqua e impar história de ocupação e uso da terra nesta bacia, a qual remonta à exploração dos depósitos aluvionares de metais metálicos a partir do século XVIII (SILVA, 1982; ESTEVAM, 1998), cujos severos impactos ambientais ao sistema hidrológico são hoje evidentes.

Este trabalho, que tem por referência o entendimento de que os processos morfogenéticos estão intrinsecamente associados à dinâmica de evolução natural da superfície terrestre (CHRISTOFOLLETTI, 1979), bem como à interdependência de alimentação e

---

<sup>1</sup> - Artigo submetido à Revista Brasileira de Geomorfologia

retroalimentação entre as inúmeras variáveis envolvidas no processo da construção da paisagem natural (CREPANI et al., 1996; 2004), buscou avaliar as possíveis relações entre entropia do relevo e vulnerabilidades naturais e antrópicas para esta região do bioma Cerrado. Especificamente, procedeu-se à avaliação dos processos de ocupação e uso das terras e suas repercussões nas vulnerabilidades naturais da bacia (CASSETI, 1981), ao mesmo tempo em que avaliamos o significado e correlação da entropia do relevo no contexto das variáveis naturais identificadas e caracterizadas, e respectivas respostas ao maior ou menor trabalho geomorfológico. Nossos resultados, ainda que preliminares, fornecem subsídios orientadores para formulação de políticas públicas para a gestão territorial e ambiental dos municípios que integram a bacia hidrográfica do Rio Vermelho.

## 2.2 ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do Rio Vermelho, localizada no limite oeste do Estado de Goiás, ocupa uma área de 10.824,60 km<sup>2</sup> entre os municípios goianos de Cidade de Goiás (alta bacia) e Aruanã (baixa bacia), entre os paralelos 14°55' e 16°20' Sul e os meridianos 50°00' e 51°30" Oeste. Intersectam seus limites, os municípios de Goiás, Aruanã, Matrinchã, Britânia, Jussara, Santa Fé de Goiás, Fazenda Nova, Novo Brasil, Buriti de Goiás, Faina e Itapirapuã (totalmente inserido na bacia) (Figura 2.1).

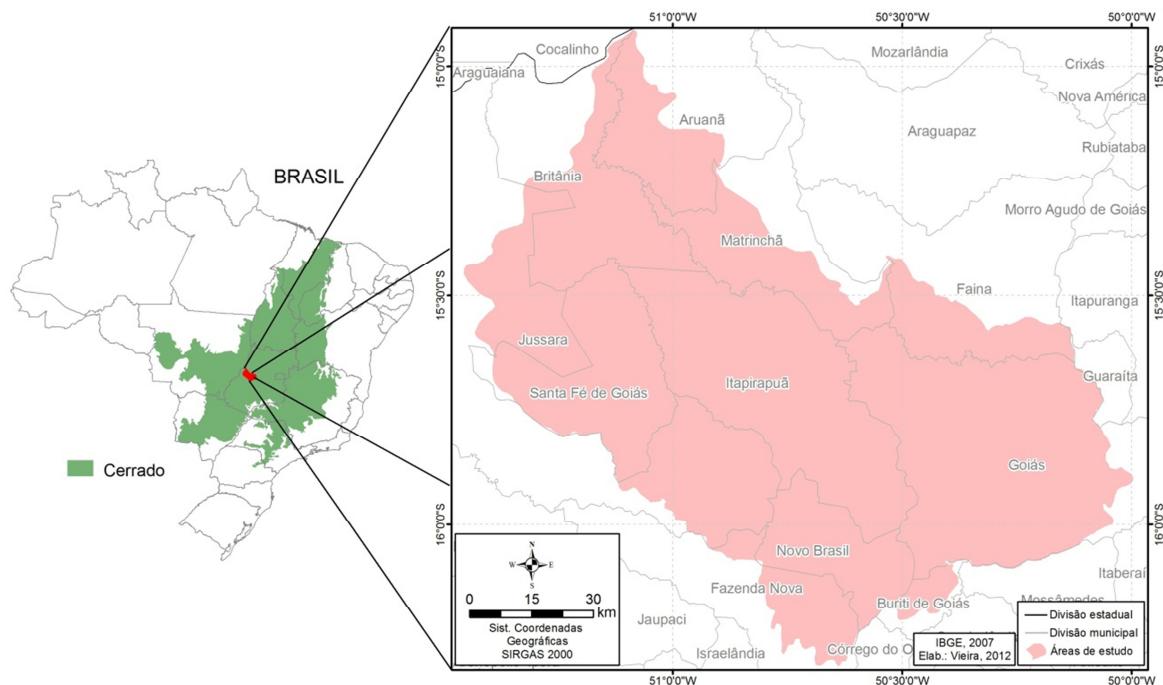


Figura 2.1 – Mapa de localização da bacia do Rio Vermelho no Estado de Goiás, com destaque para os municípios que intersectam ou integram os seus limites

## 2.2.1 ASPECTOS GEOLÓGICOS

Na área de estudo, os terrenos arqueanos, configurados pelo Maciço de Goiás, com seus granito-gnáisses e *greenstone belts*, sustentam toda a média e alta bacia, apresentando uma proporção areal aproximada de 80% para os granitos-gnáisses e 20% para os *greenstone belts*, em cotas variando entre 450 e 850 metros tem sua contribuição nos trabalhos de (DRAGO et al., 1981; LESSA SOBRINHO; ANDRADE, 1997; BAÊTA Jr. et al., 1978,1998; SOUZA et al., 1999; TEIXEIRA, 1981); já para os *greenstone belts* os trabalhos de (TASSINARI; MONTALVÃO, 1980; TOMAZZOLI, 1985; RESENDE et al., 1998; HARD et al., 2005).

De uma forma geral, os gnaisses, paleoproterozóicos, e granitos, neoproterozóicos, se concentram na porção oeste da bacia, nas regiões dos municípios de Novo Brasil, Faz. Nova, Jussara e Itapirapuã, os gnáisses, granitos e quartzitos ao sul, na região da cidade de Goiás, e os *greenstone belts*, a leste. Uma cobertura detritico-laterítica, em forma de um terraço suspenso, acompanha os sistemas fluviais principais a partir da região do distrito de Uva e a cidade de Itapirapuã, margeando os rios Uva, Itapirapuã e Vermelho (HARD et al., 2005; VIEIRA, 2003; VALENTE, 2007; BAYER, 2010). Ao norte e noroeste da bacia, observams uma ampla cobertura de sedimentos arenosos de composição quartzoza da Formação Araguaia, altamente lixiviados, sustentando cotas de 230 a 200 metros (VIEIRA, 2003). Nesta região, o Rio Vermelho desenvolve uma ampla planície de inundação associada à paleocanais e à um complexo sistema lacustre, com cotas de 200 metros, de depósitos siltico-arenosos holocênicos.

## 2.2.2 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

Geomorfologicamente, a bacia hidrográfica do Rio Vermelho constitui-se em uma depressão fechada ao sul (logo acima do povoado de Areias), ponto de vergência de litologias dos *greenstone belts* e os quartzitos da Serra Dourada, na região denominada de Cabeça de Touro, e aberta a noroeste, com cotas máximas de 600 metros e mínimas de 200 metros. A nordeste limita-se com estruturas lineares (direções de N55°W), com cotas entre 600 e 850 metros, sustentadas pelas Serras de Santa Rita, associadas ao *greenstone belts* (homônimo), cujos litotipos, dobrados e falhados, vão de metassedimentos a metavulcânicas. A sudeste, e a sul, limita-se com a Serra Dourada, com cotas entre 800 e 1080 metros e relevo tipo Hog Back, sustentada por uma sequência de quartzitos, xistos e metaconglomerados de idades

proterozóicas, em cujo front se desenvolve um espesso colúvio, de uma matriz composta por areias e seixos de quartzos, o qual avança por sobre a bacia na forma de pequenos leques.

A rede hidrológica apresenta-se sob forte controle tectônico, apresentando padrão dendrítico, tendo no Rio Vermelho seu principal sistema fluvial, cujas nascentes e foz, às cotas de 900 metros e 220 metros, respectivamente, definem uma direção preferencial ESE-WNW. Na alta bacia, o fluxo do Rio Vermelho segue o contato estrutural definido por falhas entre os granitos-gnáisses do Complexo Uvá e os metassedimentos do *greestone belt* de Santa Rita, sendo os seus principais afluentes o Água Limpa, pela esquerda, e o Ferreira, pela margem direita.

A estruturação geomorfológica da bacia se dá, de sudoeste para nordeste, com grandes quantidades de canais intermitentes e nascentes instaladas nos cóluvios do sopé da Serra Dourada. Por se tratar de rios que tem seus fluxos sobre um pavimento rochoso de rochas duras, e sob controle tectônico, apresentam canais com uma série de rupturas de declive ao longo dos cursos, formando pequenas cachoeiras. A tectônica impressa no mosaico litológico que integra a bacia do Rio Vermelho apresenta um padrão de lineamento predominante de direção N 20° W, N 20° E e N – S (VIEIRA, 2003; VALENTE, 2007; BAYER, 2010). Segundo (HARD, 2005), excluída a superfície de cimeira, representada pela Serra Dourada e pelos *greenstone belts*, com cotas superiores a 800 metros, a bacia apresenta três superfícies de aplainamento SA1, SA2 e SA3, da mais antiga para a mais recente, com cotas de 600 metros, 500metros e 400 metros, respectivamente. Especificamente em relação à superfície SA3, representada pelos vales encaixados, se encontra instalado o sistema hidrológico atual.

Para (LATRUBESSE et al., 2006) a bacia apresenta um sistema denudacional composta por Superfícies regionais de aplainamento para alta bacia com HB-ED (Estrutura Dobrada formando Hogbacks) ao sul, SRAIIIA-MC(mfo) (Superfície de Aplainamento IIIA em cotas de 700 e 800 metros sobre rochas cristalinas com morros e colinas com sistema de dissecação muito forte a Sudeste da alta bacia, SRAIVC1(fr) (Superfície de Aplainamento IVC entre cotas de 250 e 400 metros desenvolvidas sobre rochas pré-cambrianas sob fraca dissecação e MC(m) (Morros e Colinas com média dissecação) a Sudoeste, para baixa bacia SRAIVC2-LA(mfr) (Superficie de Aplainamento IVC com cotas de 250 a 400 metros sob rochas cristalinas e lagos associados com fraco processo de dissecação), PFm (Planície fluvial meandriforme – para o baixo Vermelho) e PFba (Planície fluvial com bancos acrescidos – associado ao sistema do baixo Rio Água Limpa) ao Norte da bacia.

### **2.2.3 ASPECTOS PEDOLÓGICOS**

De um modo geral, o sistema pedológico da bacia hidrográfica do Rio Vermelho apresenta um saprolito com espessuras entre 2 e 3 metros, de caráter caolínico, de cor esbranquiçada, altamente lixiviado e friável. Em relação aos terrenos arqueanos, às cotas de 400 metros, bem como aos cóluvios do front da Serra Dourada, em cotas de 650 metros, predomina uma matriz arenosa, com uma cobertura superficial de seixos quartzosos. Sobre as meta-ultramáficas, em cotas entorno de 500 metros, desenvolve-se um saprolito ferruginoso de matriz argilosa. Em áreas localizadas na alta, média e, de forma mais restrita, baixa bacia, ocorre uma ampla cobertura laterítica, com espessura aproximada de 3 metros, (LACERDA FILHO; FRASCA, 2008) a descrevem como Formações Superficiais de caráter ferruginoso constituídas por cóluvios e alúvios, conglomerados oligomíticos com seixos de quartzito e lateritos autóctones com carapaças ferruginosas. Enquanto que na baixa bacia, um saprolito arenoso, com matriz de areia quartzosa média a fina, bem selecionada, de alta permeabilidade e porosidade, sustenta uma superfície plana, em cotas de 230 metros, sobre os sedimentos da Formação Araguaia. Nestas áreas também podem ser observados níveis de laterita nodular, geralmente a partir de 2 metros de profundidade, provavelmente associada à intensa dinâmica da flutuação do freático frente ao regime de precipitação, estes solos originam das mais diversas rochas sob condições de climas tropicais, profundos com as sequências de horizontes A, B e C pouco diferenciados (LOPES, 1984; EMBRAPA, 2006).

### **2.2.4 ASPECTOS CLIMÁTICOS**

Segundo (CAMPOS et. al., 2001), a configuração topográfica do Estado de Goiás influencia diretamente na distribuição das temperaturas e precipitações médias mensais, na medida em que se constata valores maiores de pluviosidade e valores menores de temperatura nas áreas de maior altitude posicionadas a leste, e menores índices de pluviosidade e maiores temperaturas nas áreas rebaixadas inseridas no planalto, ou então nas áreas posicionadas ao longo dos vales dos rios Araguaia/Vermelho, Paraná e Paranaíba. (PEREIRA, 2008) apresenta média anual para o intervalo de 1999 a 2008 de 1281,3 mm e temperatura mínima média de 19,7°C e temperatura máxima média de 32,5°C

Em geral, temperaturas médias mensais mais elevadas predominam no mês de dezembro, com valores entre 23 e 26°C, representando a estação verão. A posição latitudinal de Goiás (entre 13° e 19° Sul), sua proximidade com a região Amazônica e sua

continentalidade, favorecem a atuação da massa Equatorial Continental que, ao penetrar no Estado de Goiás através das Depressões Interplanálticas dos Rios Araguaia e Paraná, proporciona o aumento generalizado das temperaturas (CAMPOS et al., 2001). Especificamente em relação à bacia hidrográfica do Rio Vermelho, inserida no setor noroeste do estado de Goiás e sob influência da Depressão Interplanáltica do Rio Araguaia, esta se caracteriza pela presença de altas temperaturas ao longo do ano, com médias mensais variando de 23 a 28°C (com temperaturas mínimas e máximas de 20° C e 32° C, respectivamente).

Quanto ao comportamento espacial e temporal das pluviosidades no Estado de Goiás, este apresenta grande variação, com precipitações médias entre 1mm, durante o período seco (junho a agosto), e 450 mm, durante o período mais chuvoso (dezembro a março). Especificamente em relação à bacia do Rio Vermelho, valores médios mensais (2000 a 2010) de 0,00 a 38,72 e 397,94 a 161,66 mm foram observados nos meses de junho a agosto e dezembro a março, respectivamente (Figura 2.2).

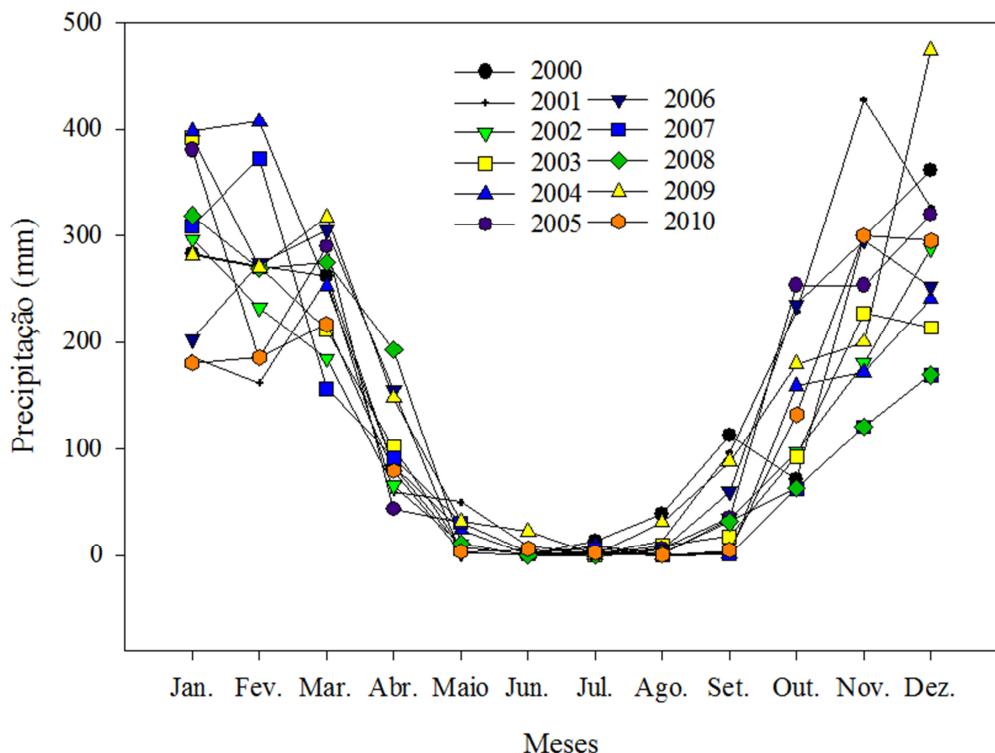


Figura 2.2 – Precipitação média mensal (2000 a 2010) para toda a região delimitada pela bacia do Rio Vermelho (dados TRMM)

## 2.2.5 ASPECTOS HIDROLÓGICOS

Com base nos dados de cota e vazão disponíveis para a estação Balneário Cachoeira Grande, aproximadamente 3 Km a jusante do sitio urbano da Cidade de Goiás, o regime hidrológico do sistema da bacia do Rio Vermelho se caracteriza por picos definidos de enchentes e vazantes acompanhando, em parte, as precipitações da região (Figura 2.3). É importante ressaltar que os altos valores altimétricos da bacia, associados às rochas do embasamento cristalino, favorecem a presença de fluxos concentrados, em curto espaço de tempo, em resposta às precipitações.

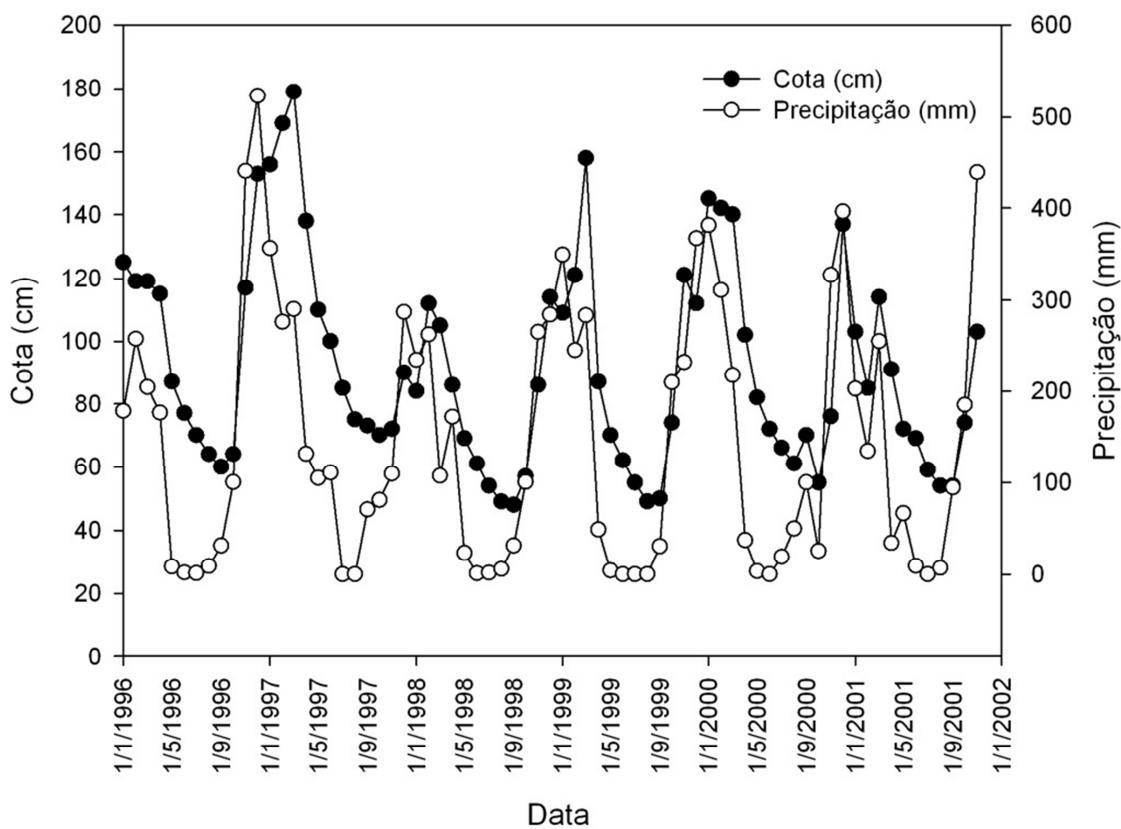


Figura 2.3 – Relação entre cota (Rio Vermelho, Balneário Cachoeira Grande, Cidade de Goiás) e precipitação, para o período entre 1996 e 2002 (média mensal)

## 2.2.6 ASPECTOS DE USO E OCUPAÇÃO

Em geral, a dinâmica de ocupação do território goiano seguiu o padrão nacional, ou seja, do leste para o oeste, e do sul para o norte, com a instalação de núcleos de povoamento resultantes de processos históricos marcantes, como as bandeiras no século XVII e a descoberta de ouro no século XVIII (SILVA, 1982; ESTEVAM, 1998). No séc. XIX, com o declínio da mineração, o território goiano passou ser a ocupado pelo gado – que vinha

acompanhando a mineração, e uma agricultura de subsistência – “o roçado”. As regiões sul e sudoeste do estado foram as preferencialmente ocupadas pelos núcleos familiares que passaram a ocupar os “espaços vazios” deixados pela mineração desde o século XVII (MARTINS, 1997), haja vista apresentarem topografia plana, resultado de uma cobertura sedimentar, solos com boa fertilidade natural, associados aos depósitos de basaltos da bacia do Paraná, e grandes áreas de Cerrado aberto (pastagem natural). A partir das décadas de 40 e 50, a região Centro-Oeste e o Estado de Goiás, em particular, passam por profundas transformações, em função das políticas de interiorização do desenvolvimento e integração nacional (ANACLETO; MIZIARA, 2006).

Este é o caso da bacia do Rio Vermelho importante centro de áreas para mineração com lavra de ouro sobre os greenstone belts, das metaultramáficas e granitos para revestimento, seixos rolados e areia para construção civil e mais de 50% de seu subsolo encontra-se em fase de Alvara de Pesquisa Mineral para os mais variados bem mineral junto ao 6º DS – DNPM-GO (6º Distrito do Departamento Nacional de Produção Mineral do Estado de Goiás). Já do ponto de vista de uso para agropecuária de acordo com INCRA (2011) – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária -, o estado de Goiás conta com 288 projetos de assentamento Rurais, sendo que 22 destes se encontram na alta bacia hidrográfica do Rio Vermelho somente em território do município de Goiás e demais projetos de assentamentos espalhados pelos dez municípios restantes que integram a bacia.

Predomina na área como um todo sem concorrente o uso para pecuária com três padrões distintos de pastagens: Um mosaico que associa pastagem e remanescentes para alta bacia, uma pastagem com padrão geométrico bem definido evidenciando um uso com maior padrão tecnológico para baixa bacia e uma zona de transição mesclando os dois padrões na média bacia. Desta forma a bacia tem mais de 65% da cobertura vegetal convertida (Figura 2.4).

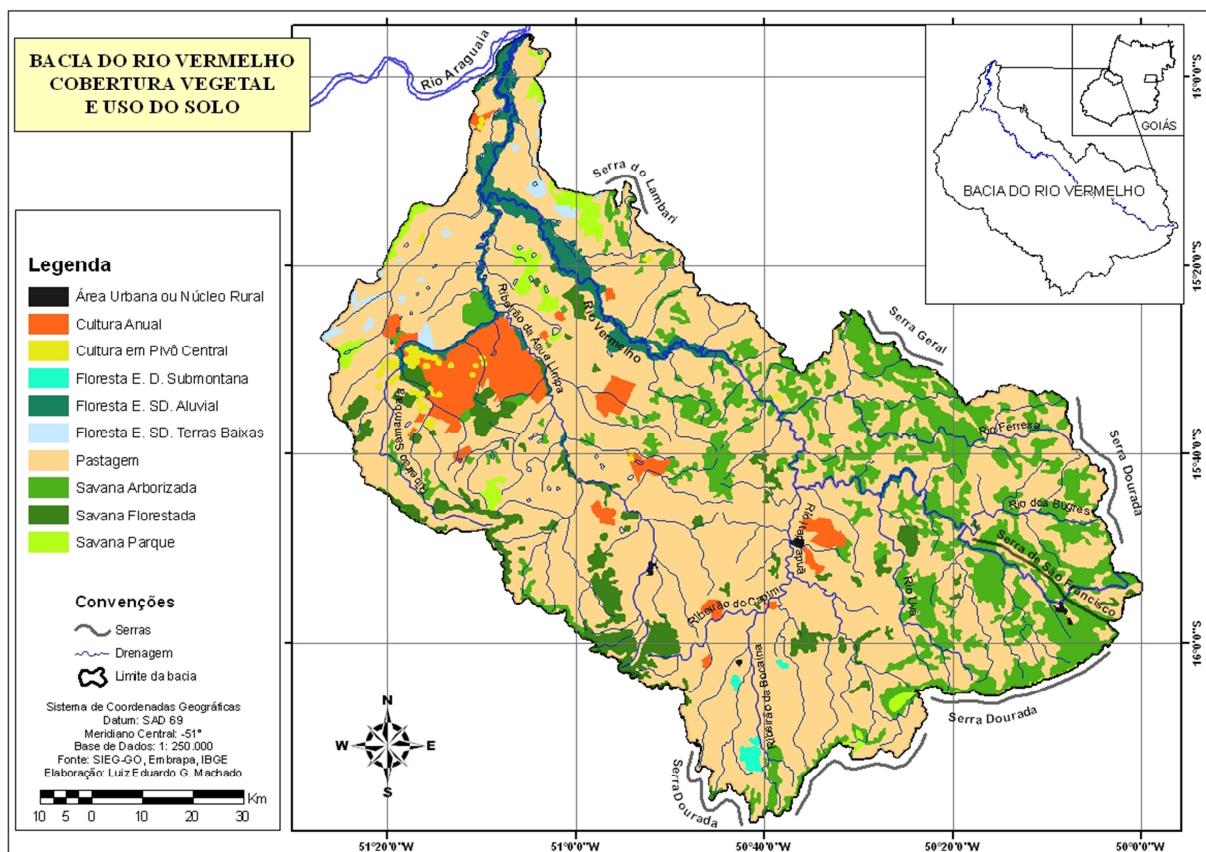


Figura 2.4 – Cobertura e uso do solo na bacia do Rio Vermelho em 2008

### 2.3 DESENHO EXPERIMENTAL

Inicialmente, e considerando a totalidade da área abrangida pela bacia hidrográfica do Rio Vermelho, foi organizada uma base de dados geográficos vetoriais (ex. limites, drenagens, estradas, etc)<sup>2</sup> e satelitários (imagens Landsat 5 – TM, cenas 239/70 e 239/71, obtidas em agosto de 2008), a partir dos quais elaborou-se o mapa de cobertura e uso do solo (Figura 2.4), validado através de três etapas principais de campo (junho, novembro e dezembro de 2010).

Para fins de análise, e tendo por base a relação direta entre hipsometria, geomorfologia e arcabouço geológico, a bacia do Rio Vermelho foi dividida em quatro domínios principais: Superfície de cimeira (1.050 a 800 metros), sustentada pelos *greenstone belts* de Santa Rita e quartzitos da Serra Dourada; Superfície de aplainamento SA1 (800 a 600 metros), com relevo ondulado a fortemente ondulado, sob forte controle tectônico, definida pelos gnáisses, cóluvios do *Hog Back* Serra Dourada, metaultramáficas e partes arrasadas dos *greenstone belts*; Superfície de aplainamento SA2 (600 a 450 metros), definida por granitos, gnáisses, cobertura detrito laterítica e Superfície de aplainamento SA3 (450 a 220 metros),

<sup>2</sup> Disponíveis através do Sistema de Informações Estatísticas e Geográficas para o Estado de Goiás (SIEG: [www.sieg.go.gov.br/](http://www.sieg.go.gov.br/))

associada às coberturas detríticas laterítica e sedimentos arenosos da Formação Araguaia, bem como sedimentos inconsolidados de idades holocênicas da planície aluvial (Figura 2.5).

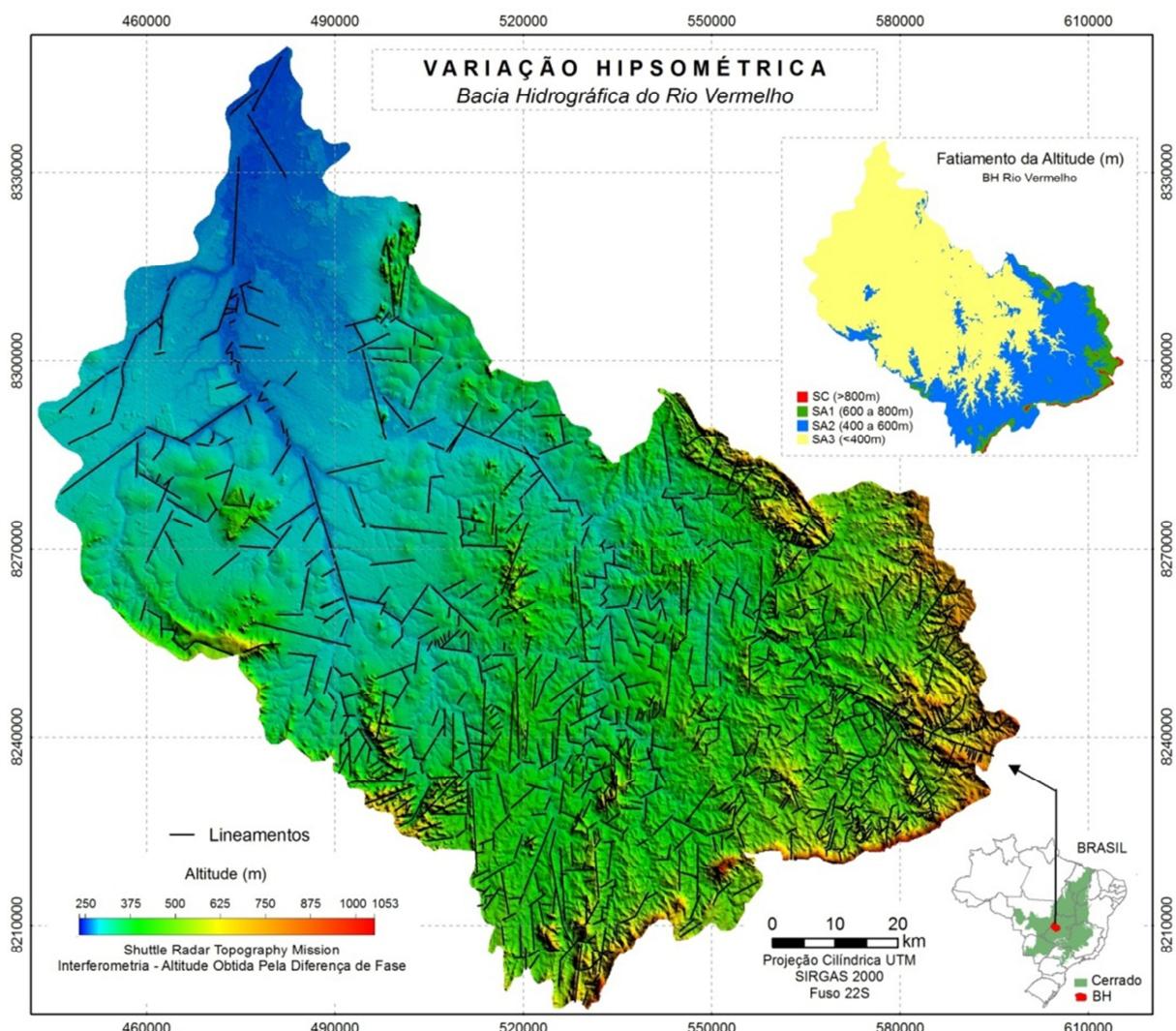


Figura 2.5 – Variação hipsométrica na bacia do vermelho (dados SRTM), comparativamente às superfícies de aplanaamento e lineamentos estruturais

Em relação à declividade, esta foi dividida nas seguintes classes, de 0 – 8,0%, 8,1 - 20%, 20,1 - 45% e > 45%, onde hipsometria, declividade e superfície de aplanaamento se relacionam da seguinte forma: predomínio da declividade de 0 a 8,0% na faixa hipsométrica baixa e processos erosivos relacionados a Superfície de Aplainamento mais recente – SA3; 8,1 – 20% relacionada principalmente à hipsometria média e Superfície de Aplainamento SA2; 20,1 – 45% associada à hipsometria alta e Superfície de Apalainamento SA1; > 45%, em áreas com altos valores hipsométricos, relacionados às superfícies de cimeira.

Especificamente para a elaboração do mapa de entropia do relevo, foram utilizadas as imagens topográficas disponibilizadas por meio do projeto Global Digital

Elevation Model (Aster/GDEM), que realizou o processamento de 1,3 milhões de imagens adquiridas ASTER, cobrindo a superfície terrestre entre as latitudes de 83° norte e 83° sul. Ao todo, o mosaico Aster/GDEM é composto por 22.895 imagens de 1° por 1°, apresentando resolução espacial de 30 metros e acuidade planimétrica e altimétrica de 30 e 20 metros, respectivamente (RODRIGUES et al., 2010). Com base nestes dados altimétricos, e considerando-se operações de vizinhança em uma matriz de convolução quadrada de dimensão ( $n \times n$ ), cuja célula central é classificada conforme a probabilidade da mesma ocorrer em outros locais da área compreendida pelo MDE, procedeu-se ao cálculo da entropia, conforme a equação (1):

$$P_i = \frac{n_i}{N} \quad (1)$$

sendo que  $P_i$  é a probabilidade de uma determinada célula de altitude  $n_i$  ocorrer em uma matriz quadrada de convolução N, de  $n \times n$  células.

Em seguida aplicou-se a fórmula de cálculo de entropia, apresentada na equação (2):

$$H = - \sum_{i=1}^n P_i \ln P_i \quad (2)$$

sendo que  $H$  é a entropia calculada através do somatório dos produtos dos logaritmos naturais ( $\ln$ ) por suas respectivas probabilidades  $P$ .

As operações matemáticas necessárias para o mapeamento da entropia foram implementadas no sistema de informações geográficas ArcGIS 9.3, através do qual todo o processamento foi realizado de forma automática. De posse do mapa de entropia do relevo, foram realizados cruzamentos topológicos, com o intuito tanto de validar o método propriamente dito, quanto avaliar as áreas de vulnerabilidade potencial indicadas pelo mapa de entropia.

## 2.4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O mapa de entropia do relevo é mostrado na figura 6, em relação ao qual é importante ressaltar que, quando analisado como um produto separado das demais variáveis que compõe o sistema natural (geologia, relevo, solo, clima, tectônica, uso), serve apenas como indicativo da energia potencial disponível para produzir trabalho geomorfológico. Especificamente, valores de entropia elevados correspondem àquelas áreas em que houve um grande aporte (e distribuição) de energia, gerando significativos processos erosivos. Como consequência, temos terrenos aplaniados, áreas estabilizadas e, em geral, áreas de baixa vulnerabilidade natural, com o predomínio de processos pedogenéticos sobre os

morfogenéticos, à exemplo do que ocorre na baixa bacia, zona do exutório, umbral de parada dos processos geomorfológicos. Por outro lado, áreas com baixa entropia caracterizam os terrenos com grande diversidade altimétricas e, portanto, com grande quantidade de energia potencial disponível no sistema, capaz de desencadear processos erosivos e induzir alta vulnerabilidade natural.

Em relação à distribuição dos valores de entropia (Figura 2.6), são possíveis as seguintes constatações gerais: 1) a classe de entropia baixa (<-0,75) prevalece na alta bacia, associada à superfície de cimeira, ao sul, leste e oeste, em cotas entre 1050 e 800 metros, associadas às estruturas que se encontram sob forte controle tectônico, como é o caso do *Hog back* Serra Dourada e a Serra de Santa Rita; 2) entropias médias (-0,50 a -0,75), associadas aos sopés destas superfícies – frente do *Hog back* da Serra Dourada, junto às estruturas lineares dos *greenstone belts* e porções da alta bacia associadas à Superfície de Aplainamento SA1 (regiões sul, leste e oeste), em cotas entre 800 e 600 metros; 3) entropia média a alta (-0,25 a -0,50) encontrada junto às estruturas lineares com direcionamento norte – sul, associadas à Superfície de Aplainamento SA2, em cotas entre 600 e 450 metros, e ao norte, na foz do sistema associado à Superfície de Aplainamento SA3, em cotas entre 450 a 230 metros; 4) entropia alta (-0,25 a 0), associada à Superfície de Aplainamento SA3 e ocupando toda baixa bacia, bem como permeando, através dos vales, em cotas de 230 a 450 metros, a alta e média bacia.

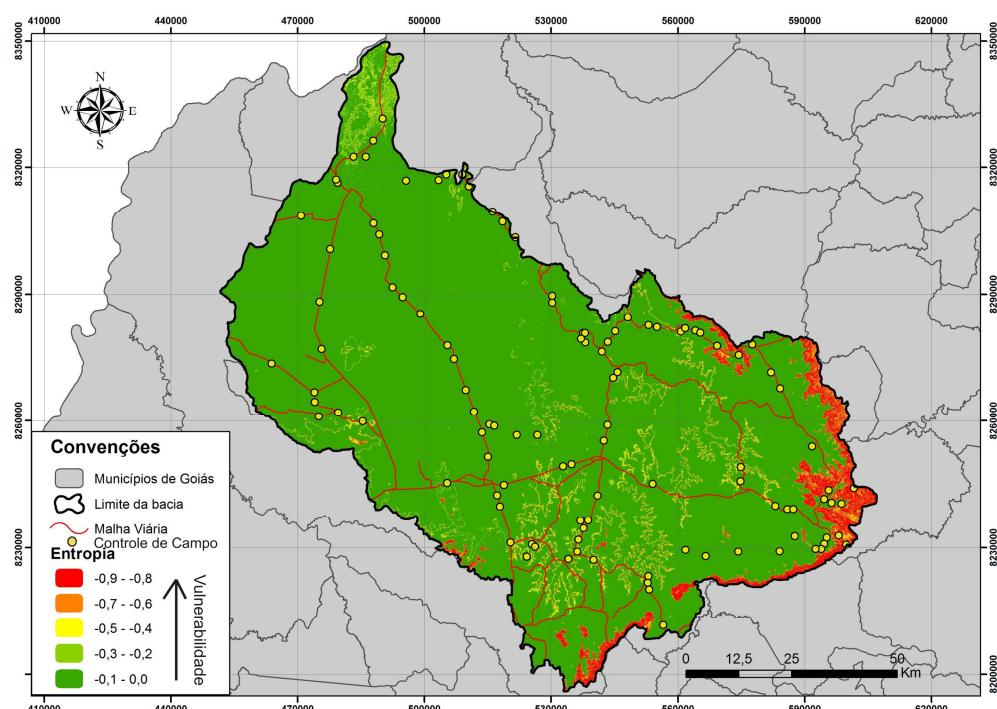


Figura 2.6 – Mapa de entropia do relevo para a bacia do Rio Vermelho, Goiás-GO

Especificamente, na região sul - sudeste da bacia do Rio Vermelho observa-se uma forte correlação entre o mapa de entropia e a vulnerabilidade da paisagem, onde a classe de entropia baixa, associada aos terrenos arqueanos do Complexo Uvá e aos quartzitos da Serra Dourada, bem como à intensa movimentação tectônica, atuam no controle dos processos erosivos. Em fato, o predomínio de um sistema hidrológico dendrítico e escoamento superficial concentrado, resultados de uma superfície de aplainamento antiga (SA1), com cotas acima de 550 metros, sugerem significativa atividade geomorfológica e alta vulnerabilidade natural, conforme ilustra a (Figura 2.7).

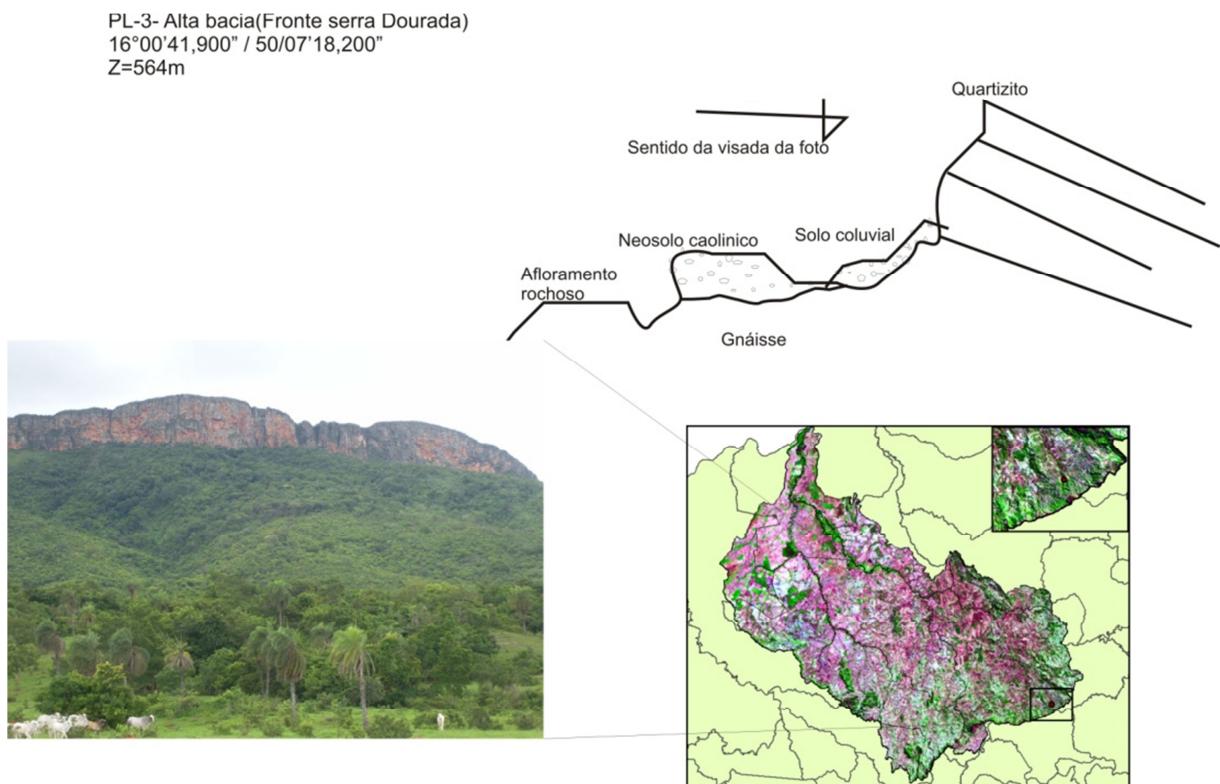


Figura 2.7 – Região sudeste da bacia (alta hipsometria), com destaque para o perfil do saprólito em várias posições na superfície de aplainamento SA1

Contudo, é interessante observar que nestas áreas, situadas em classes de entropia baixa e média - baixa, há também a inércia do sistema natural (LATRUBESSE et al., 2006), com persistência das formas de relevo ao longo do tempo, o que resulta em baixa vulnerabilidade. Este é o caso de áreas sustentadas por rochas cristalinas, com ocupação e uso predominantemente de baixo impacto (parques, pastagens naturais, pastagens cultivadas, e pequena agricultura, com uso de “roçado” e tração animal), à exemplo das áreas situadas ao sul da bacia.

Boa correlação entre entropia e vulnerabilidade também é encontrada na região oeste da bacia, situada sobre a Superfície de Aplainamento SA2 e sustentada por litótipos de idades Tercária/Quaternária (Cobertura Detritica Laterítica). Nesta região, predominam as

classes de alta entropia e baixa vulnerabilidade a trabalhos geomorfológicos (Figura 2.8), haja vista cotas moderadas (~ 330 metros), saprolito acima dos dois metros de espessura, relevo plano, vertentes com rampas retas e longas, fundo de vales chatos, escoamento superficial difuso e predomínio de processos de iluviação.

PL - 23  
 15°40'40,400" S / 51°14'34,600" W  
 Z = 324 m

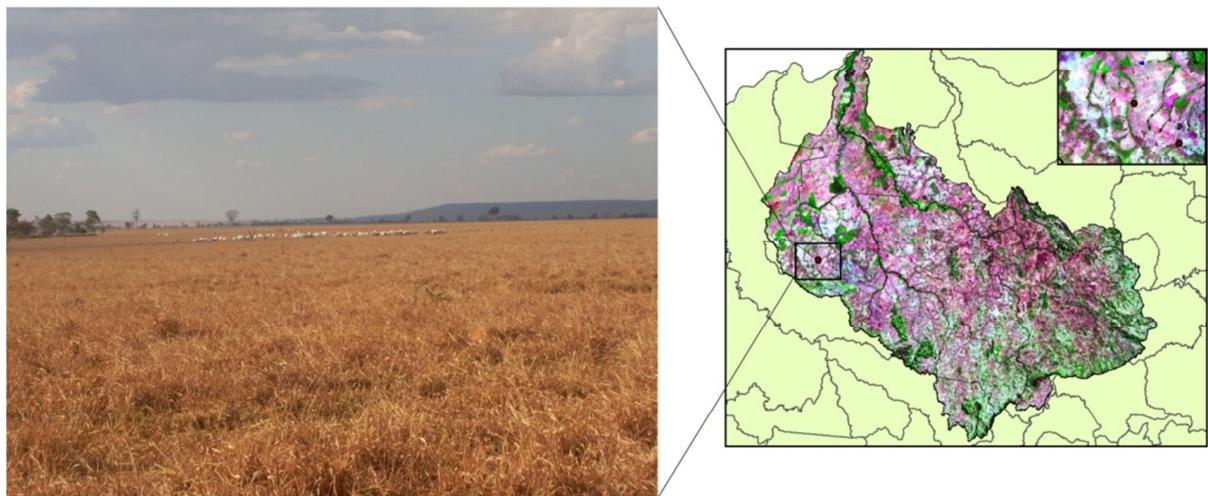


Figura 2.8 – Superfície de Aplainamento SA2, região noroeste da bacia, com o predomínio de hipsometrias médias

Por outro lado, a região leste, também sobre a superfície SA2 (hipsometria média), apresenta baixa correlação entre entropia e vulnerabilidade. Nesta região, dominada por gnáisses e granitos (terrenos Arqueanos), dos quais resultam um espesso saprolito caolínico de matriz arenosa e friável (> 2 metros de profundidade), com um nível superficial pedregoso (seixos de quartzo), o escoamento superficial concentrado gera áreas de vulnerabilidade a processos erosivos (ravinas e boçorocas), apesar do predomínio das classes de entropia média a alta e processos de ocupação de baixo impacto (pastagem natural) (Figura 2.9).

PL - 15  
 15°52'00",700 S / 50°18'03",200 W  
 Z = 453 m  
 Julho / 2010

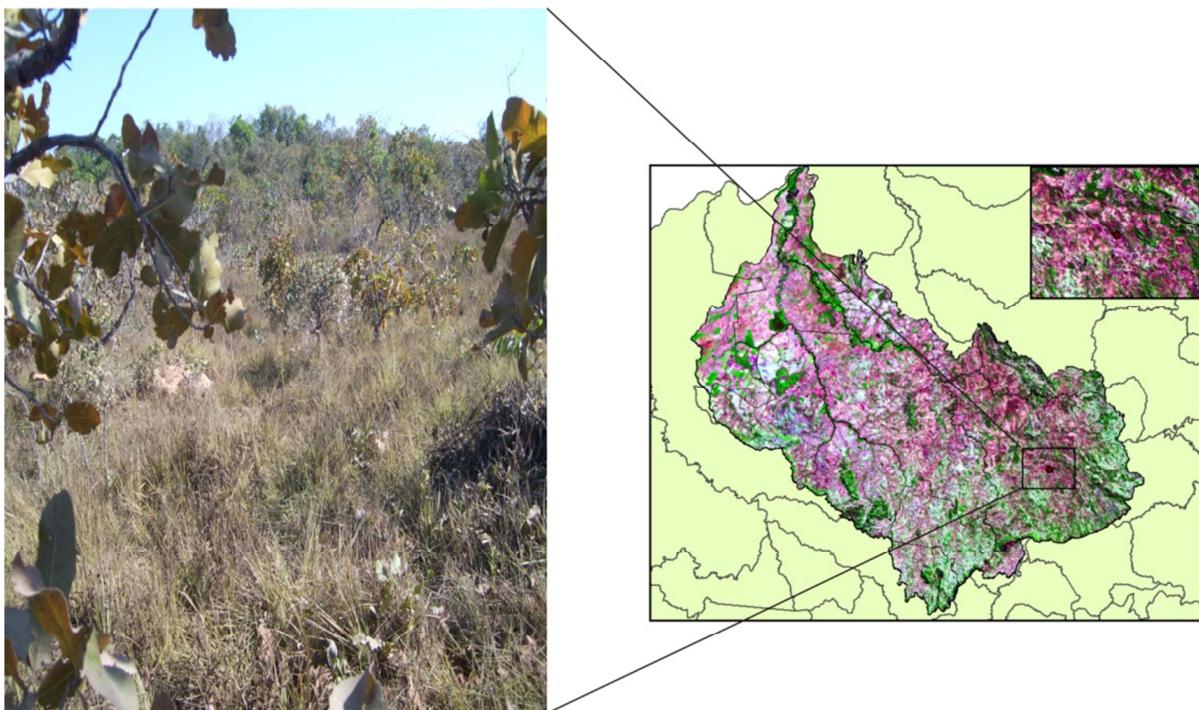


Figura 2.9 – Superfície de Aplainamento SA2 (hipsometria média), predomínio de pastagens nativas, classes de entropia media a alta e vulnerabilidade a processos erosivos

Na região norte (Superfície de Aplainamento SA3), caracterizada pelos sedimentos arenosos da Formação Araguaia, dos quais resultam espesso saprolito ( $> 5$  metros de profundidade) com matriz arenosa (quartzosa) de boa porosidade e permeabilidade, e por um intenso processo iluviação, em função de cotas hipsométricas baixas (abaixo de 300 metros), relevo plano, vales encaixados e um sistema hidrológico associado à paleocanais e lagos, há o predomínio das classes de alta entropia, em geral associadas a baixas vulnerabilidades, principalmente nas áreas distantes do sistema fluvial. Contudo, as áreas próximas à foz do Rio Vermelho, podem apresentar alta resposta morfogenética e vulnerabilidade, haja vista a diversidade de usos (principalmente pastagens cultivadas e irrigadas e uso para recreação, em épocas de temporadas) e intervenções sobre os mosaicos de paleocanais, canais ativos e sistemas lacustres não associados aos canais fluviais.

Conforme a figura 2.10, os sete municípios que apresentam as maiores proporções de área na classe de entropia baixa estão associadas aos terrenos arqueanos (Greenstone belts, granitos-gnáisses e quartzitos) e um forte controle tectônico: Goiás (26.505,529 ha), Faina (6.732,012 ha), Faz. Nova (4555,349 ha), Novo Brasil (2.185,600 ha), Jussara (1255,775 ha), Buriti de Goiás (1341,440 ha) Itapirapuã (595,793 ha), em seguida vem Santa Fé (241,254 ha), Matrinchã (61,230 ha), o que representa aproximadamente 4,01 % de área da bacia. A

Cidade de Goiás, em particular, Patrimônio Mundial da Humanidade, encontra-se encravada no entorno de mais de vinte e seis mil hectares de áreas com alta vulnerabilidade da paisagem, conforme a classe de entropia baixa, agravados por ocupações feitas de forma inadequada, principalmente ao longo da planície de inundação do rio Vermelho. Em fato, e tendo por base a análise integrada do mapa de cobertura e uso da terra, topografia e a rede de drenagem, bem como a legislação ambiental vigente, estima-se um passivo ambiental de aproximadamente sete mil hectares neste município, cujos impactos mais evidentes são perda de solo, acumulação de sedimentos no leito do rio, solo raso com pequena capacidade de retenção de água, além das recorrentes cheias e enchentes, potencializadas por precipitações intensas e concentradas. Exemplo mais marcante neste sentido, foi a tragédia ocorrida no dia 31 de dezembro de 2001, quando 140,9 mm de chuva (AGIM, 2002), aproximadamente 45% do total para dezembro de 2001 que foi de 327,11 mm (dados TRMM), concentrados em pouco mais de 08 horas de precipitação, das 21:00 hs do dia 30 às 05:00 horas do dia 31 com um retardo de chegada desta água ao canal principal de 04 hs, causou enchente de grandes proporções, que destruiu ou danificou parte significativa do acervo histórico. Tivesse este evento de precipitação iniciado as 17 h 00 min hs do dia 30, portanto com 04 horas antes, de acordo com o retardo do escoamento pluvial de 04 h 00 min para chegar ao canal principal o evento catastrófico teria ocorrido de madrugada, e não por volta de 09 h 00 min da manhã, vidas, principalmente, teriam sido perdidas.

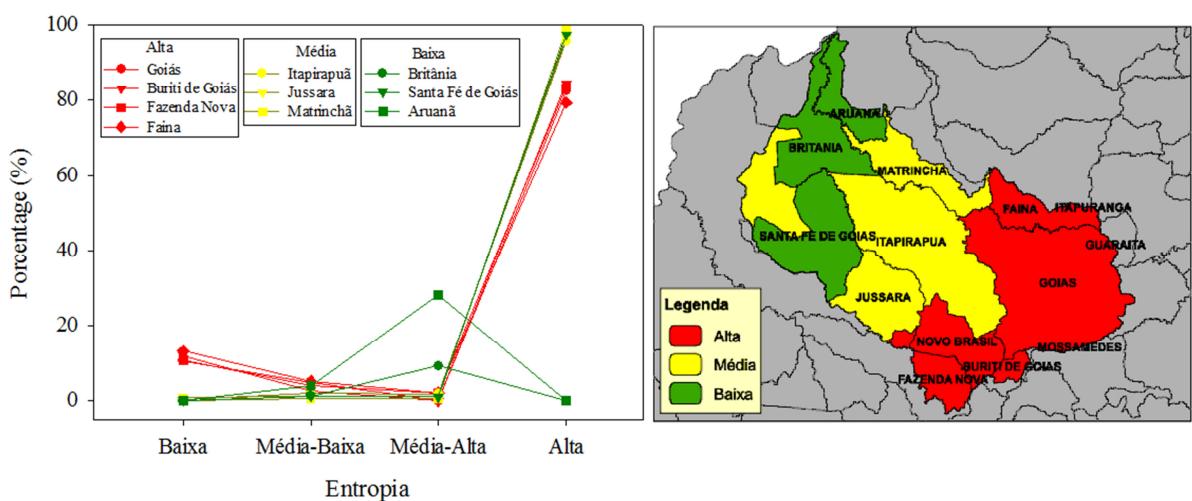


Figura 2.10 – Classes de entropia (%) por município e conforme superfícies deplainamento

## 2.5 CONSIDERAÇÕES

Este estudo buscou dimensionar a fragilidade do sistema natural da bacia do Rio Vermelho, Estado de Goiás. Neste sentido, procedeu-se à análise integrada dos dados acerca da caracterização física do sistema, da dinâmica de uso e ocupação do solo e da entropia do relevo.

Em geral, foi possível constatar uma boa correlação entre as classes de entropia com o amplo conjunto de variáveis naturais (rochas, solos, tectônica, dados morfométricos de compartimento do relevo e o sistema hidrológico) e antrópicas (ocupação e uso da terra) considerados, bem como com os diferentes níveis de vulnerabilidade do mosaico de paisagens que estas variáveis determinam e estruturam.

Embora a alta bacia, onde predomina as classes de baixa entropia (i.e. maior energia potencial disponível), seja mais suscetível à atuação de processos morfogenéticos e, portanto, mais vulnerável à ocupação, áreas da baixa bacia, principalmente aquelas próximas à Foz do Rio Vermelho, merecem atenção e proteção, haja vista a ocorrência de cheias e processos de assoreamentos de canais, paleocanais e lagos. Em fato, e considerando que os processos de alimentação e retroalimentação conectam a bacia como um todo, sedimentos e contaminantes gerados na alta bacia, irão contaminar, aterrinar e provocar o reajuste do nível de base nas áreas da baixa bacia, afetando, entre outros, a biodiversidade aquática.

Ainda em relação à região da foz da bacia, com áreas altamente niveladas pelos processos erosivos, é importante ressaltar o fato de ter sido possível identificar, apesar da escala trabalhada (1:100.000) e do reduzido compartimento a que se restringe a faixa fluvial, áreas com entropia média, coerentes com o complexo sistema fluvial desenvolvido entorno do canal principal do Rio Vermelho.

Assim, e ainda que os nossos resultados também indiquem a necessidade de um maior refinamento (aumento de escala) e realização de cruzamentos adicionais entre entropia, variáveis naturais e dinâmicas de uso da terra, fica evidente o potencial do mapa de entropia do relevo como ferramenta importante para identificar áreas mais vulneráveis à ocupação (i.e. sujeitas a enchentes, inundações e deslizamentos de terras), bem como avaliar, em diferentes escalas, áreas com energia potencial disponível para realização de trabalho geomorfológico.

## 2.6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANACLETO, T. C.; MIZIARA, F. **Expansão de fronteiras e ocupação do espaço no cerrado: o caso de Goiás.** Geografia. Rio Claro-SP, v. 31, n. 3, p. 527-538, set./dez. 2006.

AGIM, O Rio, A Cidade de Goiás e os Limites Ambientais: Identificando Causas e Indicando Medidas Preventivas. Goiânia, 2002.

BAÊTA, Jr J.D. et al. **Projeto Manganês no Centro-Sul de Goiás. Relatório Final – Etapa II** Goiânia: MME/DNPM/CPRM, 7v. 1978.

BAÊTA, JR. J.D., SOUZA J.O., MORETON L.C. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil – PLGB.** Folha SD.22-Z-C-II – Morro Agudo de Goiás; Folha SD.22-Z-C-V, Goiás; Folha SE.22-X-A-II - Sanclerlândia. Escala 1:100.000. CPRM, Goiânia, Relatório Interno. 1998.

BAYER, M. **Dinâmica do transporte, composição e estratigrafia dos sedimentos da planície aluvial do Rio Araguaia.** p.104f. Goiânia: Programa Multidisciplinar de Doutorado em Ciências Ambientais, (Tese de Doutorado). 2010.

BRASIL. **Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. Institui o novo Código Florestal Brasileiro.** Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, 1965.

CAMPOS, et al. **Análise do Comportamento Espacial e Temporal das Temperaturas e Pluviosidades no Estado de Goiás** (no prelo), 2001.

CASSETI, Valter. **Ambiente e Apropriação do Relevo.** Goiânia. Editora Contexto, 1991.

CHRISTOFOLETTI, Antônio. **Geomorfologia.** 2º ed. São Paulo, Editora Edgard Blücher, 188p. 1979.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; AZEVEDO, L.G.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V. **Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico econômico [CD-ROM].** In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8., Salvador, 1996. Anais. São Paulo: Imagem Multimídia, 1996. Seção de Comunicações Técnico-Científicas.

CREPANI, Edson; DIAS, Ricardo Ribeiro. Secretaria do Planejamento e Meio Ambiente (Seplan). Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico (DZE). **Projeto de Gestão Ambiental Integrada da Região do Bico do Papagaio. Zoneamento Ecológico-Econômico.** Imperatriz. Vulnerabilidade de Paisagens à Perda de Solos da Folha SB.23V-C. Org. por Edson Crepani e Ricardo Ribeiro Dias. Palmas, Seplan/DZE, 2006. Versão preliminar.

DNPM. **Departamento Nacional de Produção Mineral.** 6º DS. <<http://www.dnpm.gov.br/>>. Acessado em: 20 de setembro de 2010.

DRAGO, V.A. et al. Geologia da Folha Goiás - SD.22. In: **Projeto RadamBrasil: Levantamento de Recursos Naturais.** DNPM, Rio de Janeiro, 25:27-300. 1981.

EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solo. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 2 ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2006.

**ESTEVAM, L. O tempo da transformação – estrutura e dinâmica da formação econômica de Goiás.** Goiânia: ed. do autor, 1998.

**FORTES, P.T.F.O. Metalogenia dos Depósitos Auríferos Mina III,Mina Nova e Mina Inglesa, Greenstone Belt de Crixás, Goiás.** Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 207Pgs. 1995.

**HARD, et al. Geologia e geocronologia do complexo Uvá, bloco Arqueano de Goiás.** Revista Brasileira de Geociências, v 35, 2005.

**INCRA. Relatório de Projetos de Reforma Agrária – Projetos de Reforma Agrária Conforme Fases de Implementação.** 2011. Disponível em <[http://www.incra.gov.br/portal/index.php?option=com\\_docman&Itemid=399](http://www.incra.gov.br/portal/index.php?option=com_docman&Itemid=399)> Acesso em 16 dez 2011.

**LACERDA FILHO, J.V.; FRASCA, A. A. S. Compartimentação Tectônica.** In: MOREIRA, M. L. O.; MORETON, L. C.; ARAÚJO, V. A.; LACERDA FILHO, J. V.; COSTA, H. F. Geologia do Estado de Goiás e do Distrito Federal. Goiânia: CPRM/SIC – FUMINERAL. P. 34-42. 2008.

**LATRUBESSE, E. M.; CARVALHO, T. M. Geomorfologia do Estado de Goiás e Tocantins.** Goiânia, Secretaria de Indústria e Comércio. Superintendência de Geologia e Mineração. Estado de Goiás. 128 p. 2006.

**LESSA, S. M. & ANDRADE, R. S. Projeto Jussara.** DNPM/CPRM, 86p. 1971.

**LOPES, A. S. Solos sob “cerrado”:** características, propriedades e manejo. Piracicaba, POTAPOS, 162p. 1984.

**MARTINS, J. S. A reprodução do capital na frente pioneira e o renascimento da escravidão.** In: \_\_\_\_\_. Fronteira: a degradação do outro nos confins do humano. São Paulo: Hucitec, 1997.

**MONTALVÃO, R. M. G. Evolução Geotectônica dos Terrenos Granito- Greenstone de Crixás, Guarinos e Pilar-Hidrolina.** Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 372 pg. 1985.

**PEREIRA, R. C. G., LEAL, L. S. M E DA PAZ, R. L. F.** Análise da estação chuvosa no período de 1999 a 2008 no estado de Goiás. XV congresso Brasileiro de meteorologia. 2008. São Paulo - SP.

**RESENDE, M. G. Stratigraphy of the Goiás and Faina Greenstone belts, Central Brasil: A New Proposal.** Revista Brasileira de Geociências, 28(1):77-94, março de 1998.

**RODRIGUES, T. L.; DEBIASI, P.; SOUZA, R. F. Avaliação da Adequação dos Produtos ASTER GDEM no Auxílio ao Mapeamento Sistemático Brasileiro.** III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife - PE, 27-30 de Julho de 2010, p. 001 – 005.

**SILVA, A. C. S. Mato Grosso permanece grande e forte:** a economia mato-grossense após a divisão. Goiânia: Única, 1982.

SOUZA, J. O.; BAÊTA JR. J. D. A.; MORETON, H. C. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil**, Folhas: SD. 22-ZC- II - Morro Agudo de Goiás. SD. 22-Z-C-V - Goiás e SE.22-X-AII - Sanclerlândia. CPRM, Goiânia.1999.

TASSINARI, C. C. G. & MONTALVÃO, R. M. G. **Estudo geocronológico do greenstone belt de Crixás**. in: SBG, XXXI Congr. Brasileiro de Geologia, Camburiú, SC, Anais, 5, p. 2752-2759, 1980.

TEIXEIRA, A.S. **Geologia da região de Goiás-Faina**: Simpósio de Geologia Centro-Oeste, Anais..., Goiânia, p. 344-360. 1981.

TOMAZZOLI, E.R. Geologia, Petrologia, Deformação e Potencial Aurifero do Greenstone Belt of the Goiás (GO). Brasil ia. 206 p., 1985 (Dissertação de Mestrado, IG/UnB).

VALENTE, C. R. **Geotectonic, geologic evolution and regional geomorphology of the Araguaia river basin, Central Brazil**. Teses de Doutorado. CIAMB-UFG. 204 p. 2007.

VIEIRA, P. A. **Caracterização das Unidades Geomorfológicas Geoambientais da Planície do Bananal**. Dissertação de Mestrado. IESA – UFG. 148 p. 2003.

### **3 EVOLUÇÃO DA OCUPAÇÃO E USO DA TERRA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO VERMELHO, ESTADO DE GOIÁS**

#### **3.1 INTRODUÇÃO**

A ocupação do bioma Cerrado tem início com as bandeiras, no século XVII, e a descoberta de ouro, no século XVIII (SILVA, 1982; ESTEVAM, 1998). O processo histórico de ocupação da mineração apresenta-se como primeira frente de produção do Cerrado no solo goiano, em especial com a descoberta do minério de ouro já no séc. XVIII, nos estados de Goiás e Mato Grosso (PALACÍN; AUGUSTA, 1994; 1995; ESTEVAM, 1998). A bacia hidrográfica do Rio Vermelho, em particular, experimentou um rápido processo de conversão do Cerrado, em razão da grande quantidade de ocorrências de mineralizações auríferas de aluvião, haja vista sua configuração geológica, propícia aos depósitos de minério de ouro associados aos “greenstone belts de Santa Rita e Faina” (TEIXEIRA, 1981; MONTALVÃO, 1985; TOMAZZOLI, 1985; FORTES, 1995; RESENDE, 1998; HARD et al., 2005).

O ouro, minerado de forma desordenada e irregular, ocasionou severos prejuízos ao sistema fluvial e ao meio ambiente. Cicatrizes da atividade de mineração ocorrida naquela época ainda hoje podem ser verificadas, tais como, estruturas lineares formando valas para lavagem do cascalho, denominadas de catas (local de remoção dos depósitos de seixos mineralizados) e mudanças do canal do rio. A esta época, os processos de ocupação, tendo como frente pioneira a mineração, já dominavam paisagens de alta vulnerabilidade (VIEIRA et al., 2012) produzindo desgastes no meio natural, em específico na parte superior da bacia do Rio Vermelho, a montante onde se localiza o centro urbano da Cidade de Goiás, centro irradiador dos avanços de ocupação. Nessa área, os processos geomorfológicos têm alto controle sobre a dinâmica fluvial (LATRUBESSE et al., 2009), fato do qual decorre as enchentes recorrentes que colocam em alto risco a população e o acervo arquitetônico da cidade tombada pela UNESCO como Patrimônio Mundial da Humanidade em 2001.

Os impactos ambientais gerados a esta época estavam atrelados ao sistema produtivo de então, ou seja, mineração, pecuária e agricultura. Em face da mineração, outras atividades como pecuária e agricultura foram se desenvolvendo nas colônias em razão do grande distanciamento, das dificuldades de abastecimento e o elevado valor de mercadorias. Em contrapartida, essas atividades produtivas na pecuária e agricultura atenuaram a crise do processo de ocupação (MIZIARA; FERREIRA, 2008).

No séc. XIX, com o declínio da mineração, o Cerrado goiano passa a ser ocupado com mais efetividade pelo gado e uma agricultura de subsistência. Antes, apoio à mineração, a agropecuária passa a dominar a paisagem, criando as condições para a fixação dos núcleos familiares herdados dos primeiros processos de ocupação.

A partir das décadas de 1940 e 1950, a região Centro-Oeste e o Estado de Goiás, em particular, passam por profundas transformações, em função das políticas de interiorização do desenvolvimento e integração nacional (ANACLETO; MIZIARA, 2006). Com a introdução de mecanismos de incentivo à expansão da fronteira agrícola em meados da década de 1970, com o POLOCENTRO (Programa Nacional de Desenvolvimento para o Centro Oeste) juntamente com a criação pelo Estado de Goiás da Agência Rural, no governo de Ari Valadão (1978 - 1982), a ocupação do Cerrado goiano é alçada a um novo patamar.

Desta forma, a presente pesquisa se propõe a investigar a dinâmica de ocupação e uso da bacia do Rio Vermelho, Cerrado goiano, em quatro recortes temporais distintos, tendo por referência as áreas de vulnerabilidade natural identificadas em VIEIRA *et al.*, 2012. Assim, e a partir da análise das mudanças na paisagem natural, buscar-se-á avaliar a sustentabilidade do meio ambiente frente aos processos de antropização em curso na bacia do rio vermelho.

### **3.2 ÁREA DE ESTUDO**

A bacia hidrográfica do Rio Vermelho, localizada na região oeste do Estado de Goiás, principal afluente pela margem direita do Rio Araguaia, possui uma área de aproximadamente 10.824,60 Km<sup>2</sup>, situada entre os municípios goianos de Cidade de Goiás (alta bacia) e Aruanã (baixa bacia) (paralelos 14°55' e 16°20' Sul e os meridianos 50°00' e 51°30' Oeste). Compreende parcialmente os limites municipais de Goiás, Aruanã, Matrinchã, Britânia, Jussara, Santa Fé de Goiás, Fazenda Nova, Novo Brasil, Buriti de Goiás, Faina e totalmente o município de Itapirapuã (Figura 3.1).

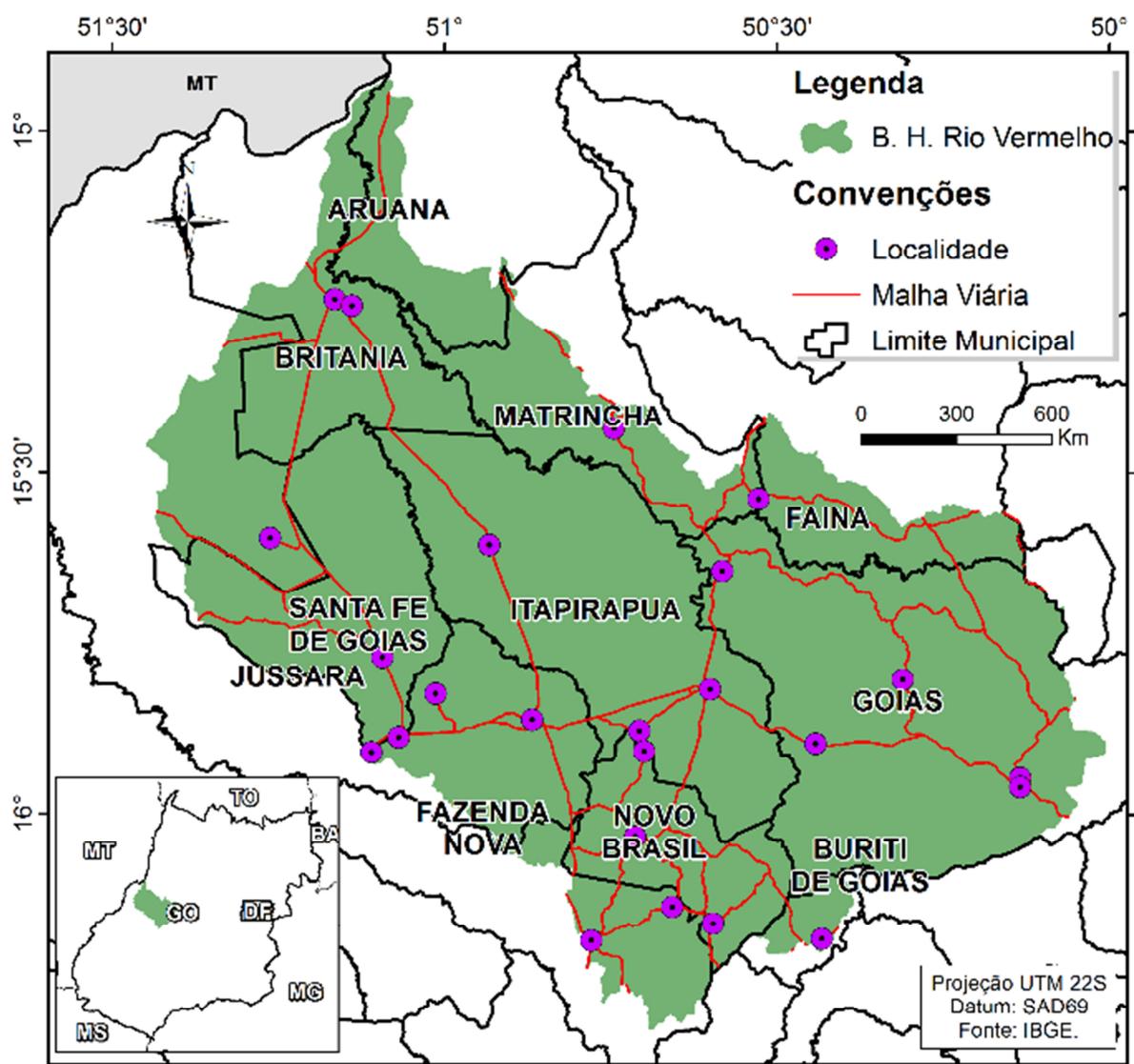


Figura 3.1 – Localização da bacia do Rio do Vermelho (região noroeste do estado de Goiás)

A base econômica da bacia hidrográfica do Rio Vermelho é dominada pela pecuária, a qual faz uso de diferentes padrões de qualidade de pastagem cultivada. Por outro lado, a agricultura, de subsistência, é restrita a um grande número de projetos de assentamentos. Importante ressaltar que a bacia do Rio Vermelho se projeta como palco de um novo ciclo da mineração, haja vista a grande quantidade de Alvarás de Pesquisa emitida pelo Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM – 6º Distrito – Goiânia - GO.

### 3.3 DESENHO EXPERIMENTAL

Tendo em vista a elaboração de mapas de cobertura vegetal natural e classes de usos da terra referente à bacia hidrográfica do Rio Vermelho, foi organizada uma base

composta por imagens orbitais (LANDSAT MSS e TM) referentes ao período de agosto de 1976, 1987, 2002 e 2008.

As séries temporais foram escolhidas de tal forma a levantar as premissas do padrão de conversão do uso e cobertura da terra para a bacia do Rio Vermelho, sendo: 1976, o ponto de partida (marco zero da análise); 1987, avaliar a década de 80 como década que marca o período de grande conversão da cobertura vegetal natural; 2002, consolidação da ocupação e uso da bacia pelas atividades agropecuárias; e 2008, período de confirmação do processo de consolidação da ocupação da bacia hidrográfica do Rio Vermelho.

O processo de classificação da cobertura natural e antrópica para a bacia do Rio Vermelho iniciou-se com a aquisição das imagens LANDSAT MSS para o ano de 1976, através do portal do sítio do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE - seção de *catálogo de imagens* - <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>). A partir da aquisição das imagens orbitais MSS, 239/70 e 239/71 (órbita/ponto), foram realizados o georreferenciamento e construção do mosaico, bem como recorte da imagem MSS para o limite da área aqui tomada como objeto de análise. Em seguida, estas imagens foram classificadas por meio do método de classificação supervisionada máxima verossimilhança (MAXVER) com duas classes resultantes, i.e. remanescente (vegetação natural) e uso antrópico, as quais foram detalhadamente revistas e editadas.

Para a elaboração do mapa de uso da terra para os anos de 1987, 2002 e 2008 foi utilizada a classificação não supervisionada e imagens LANDSAT 5 TM. Foi utilizado como apoio durante a interpretação visual, com vistas a identificar as variações das fitofisionomias do Cerrado na área de estudo, o mapeamento da cobertura vegetal do Estado de Goiás resultante do projeto PDIAP (Programa de Identificação de Áreas Prioritárias para Conservação da Bio-Geodiversidade no Estado de Goiás - 2002) (SCARAMUZZA et al., 2008; SANO et al., 2008).

Em relação à matriz de erro, foi utilizado o arquivo vetorial (*shapefile*) da classificação para o ano de 2008 e os pontos de controle de campo, cujo objetivo foi de verificar a acurácia da classificação supervisionada do uso e cobertura vegetal da terra realizada para a bacia hidrográfica do Rio Vermelho referente ao ano de 2008. Para tal procedimento, foi realizada intersecção com os pontos de campo e o *shapefile* da classificação supervisionada para anexar as informações das duas tabelas em uma, agrupando, dessa forma, os atributos dos pontos em campo com as classes obtidas pelo mapeamento de uso da terra, sendo elas: agricultura, água, bancos de areia, pastagem, perímetro urbano, pivôs e Vegetação natural. Após a intersecção, atribuímos a numeração 0 (zero) para as classes de campo que não coincidiam com a classificação e -1 para as classes que coincidiram. Por fim, contam-se

os pontos com numeração -1 e dividi esse valor pelo número total de pontos para cada classe da classificação supervisionada.

Em uma tentativa de se estimar a perca de sedimentos em áreas de classe de entropia média a média-baixa (VIEIRA et al., 2012) frente ao uso e de tal forma testar a hipótese de que existe uma forte correlação entre vulnerabilidade natural e entropia da paisagem, optou-se uma área teste na alta bacia para cálculo da perda de solo através de um método de coleta de dados direto. Já para avaliarmos o estoque de carga de fundo armazenada na calha do sistema hidrológico elegemos o curso médio do Rio Vermelho.

Desta maneira, foi selecionada uma microbacia do Rio Uganda, afluente pela margem esquerda do Rio Vermelho, aqui denominada de microbacia sede Srº Oleriano, Faz. Mangueira, localizada no município de Goiás, cujo canal de primeira ordem havia sido represado. Conforme levantamentos dos dados de construção (1981) e dragagem dos sedimentos capturados pela barragem até 2011, e considerando a área da microbacia envolvida, estimou-se o volume total removido, em toneladas/hectares/ano.

Para o cálculo de volume utilizamos da seguinte fórmula:

$$V = A \times pm \quad (1)$$

Onde: V= Volume de sedimento; A= Área represada da microbacia; Pm= espessura média dos sedimentos capturados pelo represamento.

De posse do volume de sedimentos aplicamos:

$$T = V \times d \quad (2)$$

Sendo: T= Tonelagem dos sedimentos; V= Volume dos sedimentos capturados pelo represamento; d = Densidade média dos sedimentos (silte/argila).

Consideramos, para efeito de cálculo, uma densidade média de 1,7 para os sedimentos siltico-argilosos.

Para a estimativa de carga de fundo, selecionamos um segmento do canal do Rio Vermelho (corpo geológico arenoso), modelado por um corpo hipotético (retangular) projetado em seção transversal. Em seguida, delimitou-se o segmento do canal através de uma linha base (referência), coincidente com o eixo do depósito aluvionar que se pretende avaliar. Isto feito dragou-se todo o sedimento inconsolidado que se encaixava neste corpo, delimitado para o ano de 2008, cuja reposição foi conferida em 2009. Também foi levantado todo o canal a montante para verificação da dinâmica de entrada de carga de fundo no canal, i.e. se proveniente da bacia ou contribuição de sedimentos advindo da instabilidade de canal ou de dunas ativas em movimento.

Estabelecidos estes parâmetros, utilizamos da seguinte fórmula matemática:

$$V = A \times pm \quad (3)$$

Onde: V= Volume de sedimento; A = Área do corpo hipotético considerado; pm = Espessura média dos sedimentos.

Em seguida aplicamos:

$$T = V \times d \quad (4)$$

Onde: T= Toneladas; V=Volume de sedimentos; d = Densidade média; consideramos d~1,3 para os sedimentos quartzosos.

Todos os procedimentos metodológicos envolvidos nesse estudo estão detalhados no fluxograma abaixo (Figura 3.2).

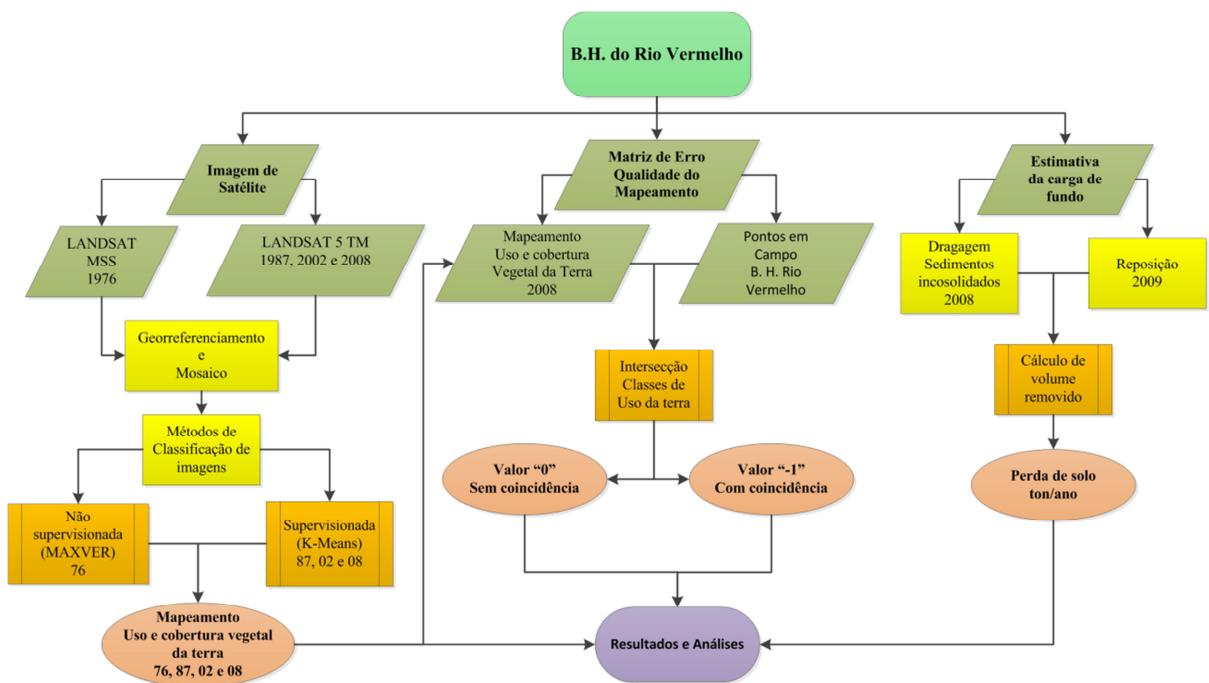


Figura 3.2 – Fluxograma esquemático dos dados e procedimentos utilizados na elaboração desse estudo

## 3.4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.4.1 ANÁLISE DA CONVERSÃO DA PAISAGEM NA BACIA DO RIO VERMELHO

Conforme os mapas de usos e de cobertura da terra obtidos nesta pesquisa, para o ano de 1976, a vegetação remanescente era predominante, cobrindo uma área de aproximadamente 7.531 Km<sup>2</sup> (69,6%), enquanto a pastagem (cultivada e natural) ocupava 3.261 Km<sup>2</sup> (30,1%), principalmente à jusante da bacia, região localizada na superfície

suavemente ondulada à plana, em cotas abaixo de 350 metros, com dissecação do relevo média a muito fraca. Ou seja, relevo com baixos valores de declividade, de 0 a 3,0%, sobre rochas das Formações TQDL e Araguaia com tectônica encoberta (BAYER, 2010; VALENTE, 2007; VIEIRA, 2003), não refletida nas formas de superfície de terreno, predominância de solos Latossolos Vermelhos e Neossolos Quartzarênicos (Figura 3.3a).

No período entre 1976 a 1987, praticamente em uma década, a bacia experimenta uma rápida conversão, da ordem de 2,70% ao ano, o que corresponde a aproximadamente 300,00 km<sup>2</sup> (Figura 3.3B). Já para o período entre 1987 a 2002, esta taxa cai para 0,26% (~28,8 km<sup>2</sup> ao ano), taxa esta que se repete para o período de 2002 a 2008. Ou seja, a bacia do Rio Vermelho experimenta o “boom” de conversão da cobertura vegetal entre 1976 a 1987, tendo-se o ano de 1987 como marco da consolidação de ocupação, período este que coincide com o Programa de Desenvolvimento do Cerrado – POLOCENTRO, iniciado na década de 1970.

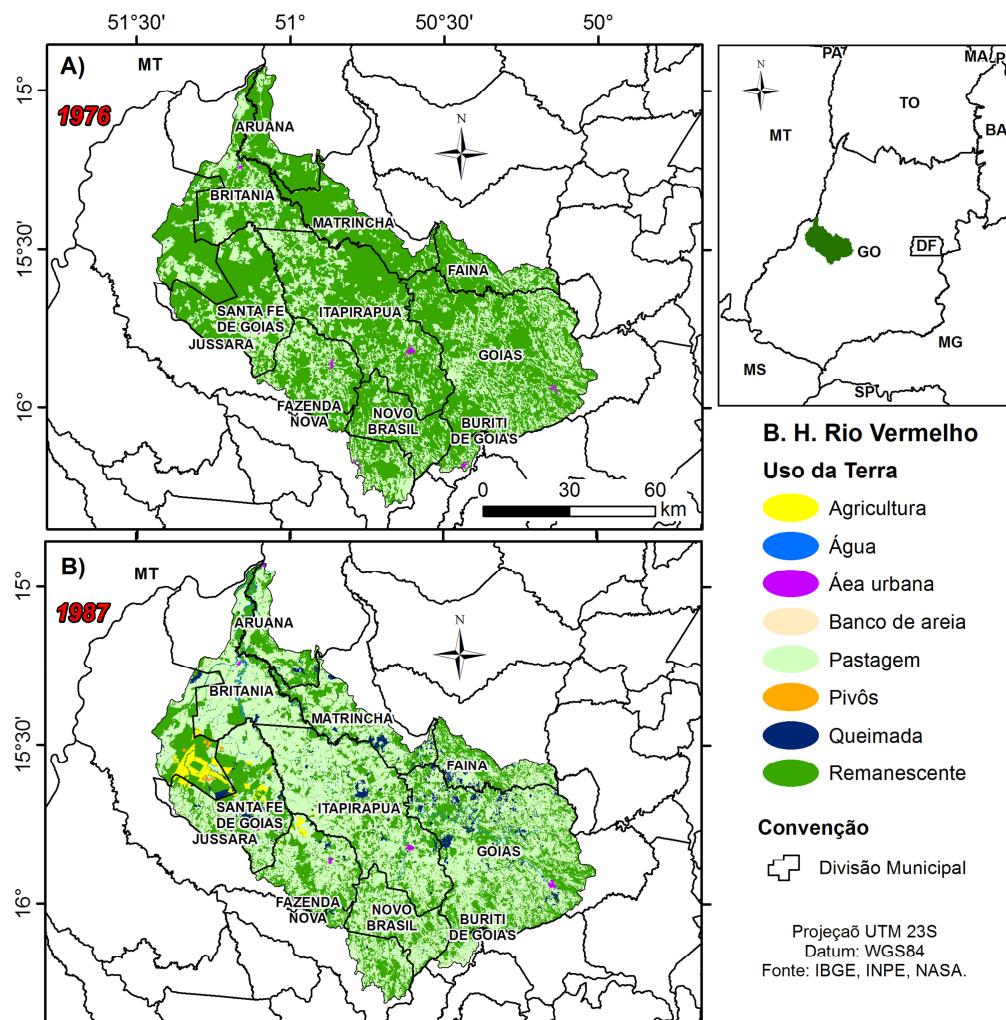


Figura 3.3 – Mapa de uso e cobertura vegetal da terra para a bacia hidrográfica do Rio Vermelho para os anos de 1976 (A) e 1987 (B)

Ainda que o processo de conversão do Cerrado na bacia do Rio Vermelho tenha predominado sobre áreas sustentadas por uma topografia plana, região da baixa bacia, áreas estas que permitiam o emprego de aumento do padrão tecnológico (motomecanização e calcário para correção da acidez do solo), a partir de 1987, o processo de ocupação na bacia hidrográfica do Rio Vermelho ocorre de forma generalizada, incluindo a ocupação de áreas impróprias, como aquelas situadas na alta bacia, com topografia movimentada e solos mais rasos, bem como áreas encharcadas e planícies de inundações, i.e. terraços fluviais na baixa bacia.

O processo de ocupação deu-se preferencialmente ao longo da rodovia GO 173, que liga os municípios goianos de Jussara a Britânia, a partir de vias secundárias com padrões geométricos retangulares, em relação às quais a conversão da cobertura vegetal ocorreu preferencialmente até distâncias de 1 km da malha viária. O aumento da conversão do Cerrado neste período tendeu a avançar a partir dos principais eixos viários existentes, como por exemplo, a GO 324, que liga a cidade de Jussara ao distrito de Jascilândia norte da bacia, e a GO 173, ramificação da GO 070, no limite oeste da bacia, conectando as cidades de Santa Fé, Britânia e Aruanã.

A alta bacia do rio Vermelho é composta por um relevo altamente movimentado, sob forte controle tectônico. Concentra-se nas regiões sul e sudeste da bacia, predominantemente em suas bordas, em topo de morros, encostas de serras, morros e colinas, as maiores proporções de vegetação natural, em geral fragmentada em polígonos irregulares sem um padrão geométrico definido.

Por outro lado, as áreas ocupadas na alta bacia sobre solos férteis desenvolvidos (região de rochas maficas), possuem forte controle para o uso do solo devido a variável topográfica, um impedimento natural para o ano 1976, a qual passa a ser ignorada na década seguinte, 1980.

Consolida-se, desse modo, o processo dinâmico de ocupação nos municípios de Goiás, Faina, Fazenda Nova, Novo Brasil, Buriti de Goiás e nas proximidades dos núcleos urbanos, os quais estão localizados em compartimentos topográficos com maiores amplitudes altimétricas, inclusive em áreas com vertentes de alta declividade e topo de morros.

Embora o projeto de Integração Nacional da Marcha para o Oeste, a partir da década de 1940, tenha buscado impulsionar e incentivar a colonização de áreas distantes dos grandes centros urbanos (BEZERRA, 2004; MARTINS, 2009), o processo dinâmico de ocupação da bacia do Rio Vermelho até 1976 se deu de maneira incipiente, ainda que a área convertida à época já fosse significativa, em torno de 30 %. Predominava então, a pecuária

extensiva em pastagens naturais e em propriedades latifundiárias, onde a paisagem como um todo, se mantinha em bom estado de equilíbrio natural.

Esta ocupação “moderada” pode ser entendida como um reflexo direto da transferência da capital para a nova cidade de Goiânia, no ano de 1937, o que causou uma retração no sistema produtivo, uma vez que a cidade de Goiás, centro das decisões políticas do Estado e portal de entrada da bacia do Rio Vermelho, agora ficara relegada a um segundo plano no cenário das decisões políticas.

Verifica-se então, a ocupação para a agricultura nas planícies de inundação e em terraços fluviais (Figura 3.3b). Em consequência a esta dinâmica de ocupação, passa a ocorrer o empobrecimento dos solos, com o surgimento de processos erosivos acarretados pela aceleração do trabalho geomorfológico, colocando em risco o equilíbrio do sistema hidrológico da bacia hidrográfica devido ao acúmulo de sedimentos e contaminantes ao longo de quase toda a bacia do Rio Vermelho.

É importante estabelecer a correlação entre o rebaixamento do lençol freático, com o desaparecimento do sistema lacustre (lagos), fortemente associado ao processo de conversão do Cerrado. Em fato, é perceptível, no mapeamento realizado, a quantidade de lagos que desapareceram entre os anos 1976 a 1987 ao longo da GO 324, que liga Jussara ao distrito de Jascilândia.

Em paralelo ao desenvolvimento do oeste goiano, em particular aquele representado pela bacia do Rio Vermelho, a conversão de áreas nativas de Cerrado deu-se de forma acelerada. Em uma década, entre 1976 a 1987, aproximadamente 30% da bacia foi incorporada ao novo sistema produtivo, com áreas de pastagens cultivadas passando de 30% em 1976 para 60 % em 1987 (Figura 3.4).

A bacia hidrográfica do Rio Vermelho, altamente preservada na década de 70, apresenta atualmente em torno de 65% de ocupação por agricultura de subsistência e pastagem cultivada. A evolução da ocupação e uso da terra para a bacia é apresentada na tabela 3.1.

Por outro lado, nos períodos seguintes, i.e. de 1987 a 2002 e de 2002 a 2008, a ocupação da bacia do Rio Vermelho se estabiliza, em torno de 6% e 2%, respectivamente (Tabela 3.1). Em média, uma taxa de conversão de 3% ao ano entre 1976 e 1987; de 0,4% entre 1987 a 2002; e ainda menor entre 2002 a 2008, correspondendo a apenas 0,3%. Em fato, este declínio nas taxas de conversão das áreas naturais corrobora para o entendimento de que a partir do ano de 1987 começa a consolidação do processo de ocupação, cujo marco de confirmação situa-se em torno de 2002, conforme esclarece os mapeamentos do uso e cobertura da terra para a bacia do Rio Vermelho (Figuras 3.3b, 3.5a e 3.5b).

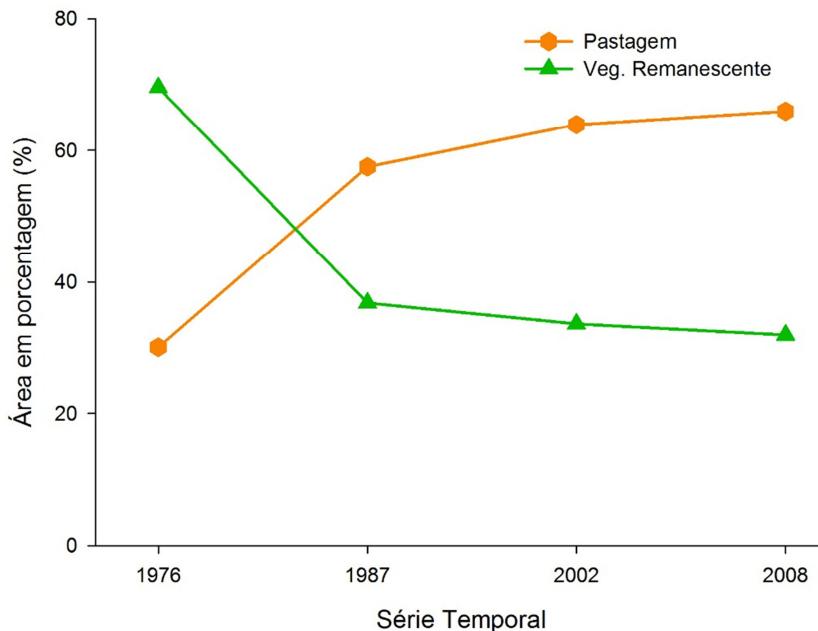


Figura 3.4 – Evolução da ocupação e uso das terras na bacia do Rio Vermelho, entre o período de 1976 a 2008

TABELA 3.1: EVOLUÇÃO DA OCUPAÇÃO E USOS DAS TERRAS NA BACIA DO RIO VERMELHO.

Anos	Pastagem Cultivada (km <sup>2</sup> )	Pastagem Cultivada (%)	Remanescente (km <sup>2</sup> )	Remanescente (%)
1976	3.261	30,1	7.531	69,6
1987	6.226,892	57,526	3.983,550	36,805
2002	6.920,091	63,96	3.641,356	33,64
2008	7.143,076	65,99	3.460,587	31,97

O mapa de uso da terra de 2008 (Figura 3.5b) indica uma área convertida de aproximadamente 7.103,89 Km<sup>2</sup>, ou seja, 65,50% da área total da bacia ocupados com pastagens cultivadas, ocupação esta que avançou também sobre áreas com alta declividade, de >45° e entre 25° e 45°, áreas de APP (Área de Proteção Permanente) e de RL (Reserva Legal) (figura 5b). Especificamente no que diz respeito às APPs, aproximadamente 40,31% destas foram convertidas. Em relação às áreas com declividades superiores à 45°, a ocupação chega a 44,62%, enquanto que áreas com declividades entre 25° a 45° a ocupação é de aproximadamente 8,18%.

De acordo com o que foi apresentado pelos mapeamentos do uso da terra e análises recentes de campo na bacia hidrográfica do Rio Vermelho, a pecuária predomina como um todo, sem concorrente, apresentando três padrões distintos de pastagens: Um mosaico que associa pastagem e remanescentes para a alta bacia; pastagem com padrão geométrico bem definido evidenciando um uso com maior padrão tecnológico para a baixa

bacia; e uma zona de transição, mesclando os dois padrões supracitados na média bacia (Figura 3.5).

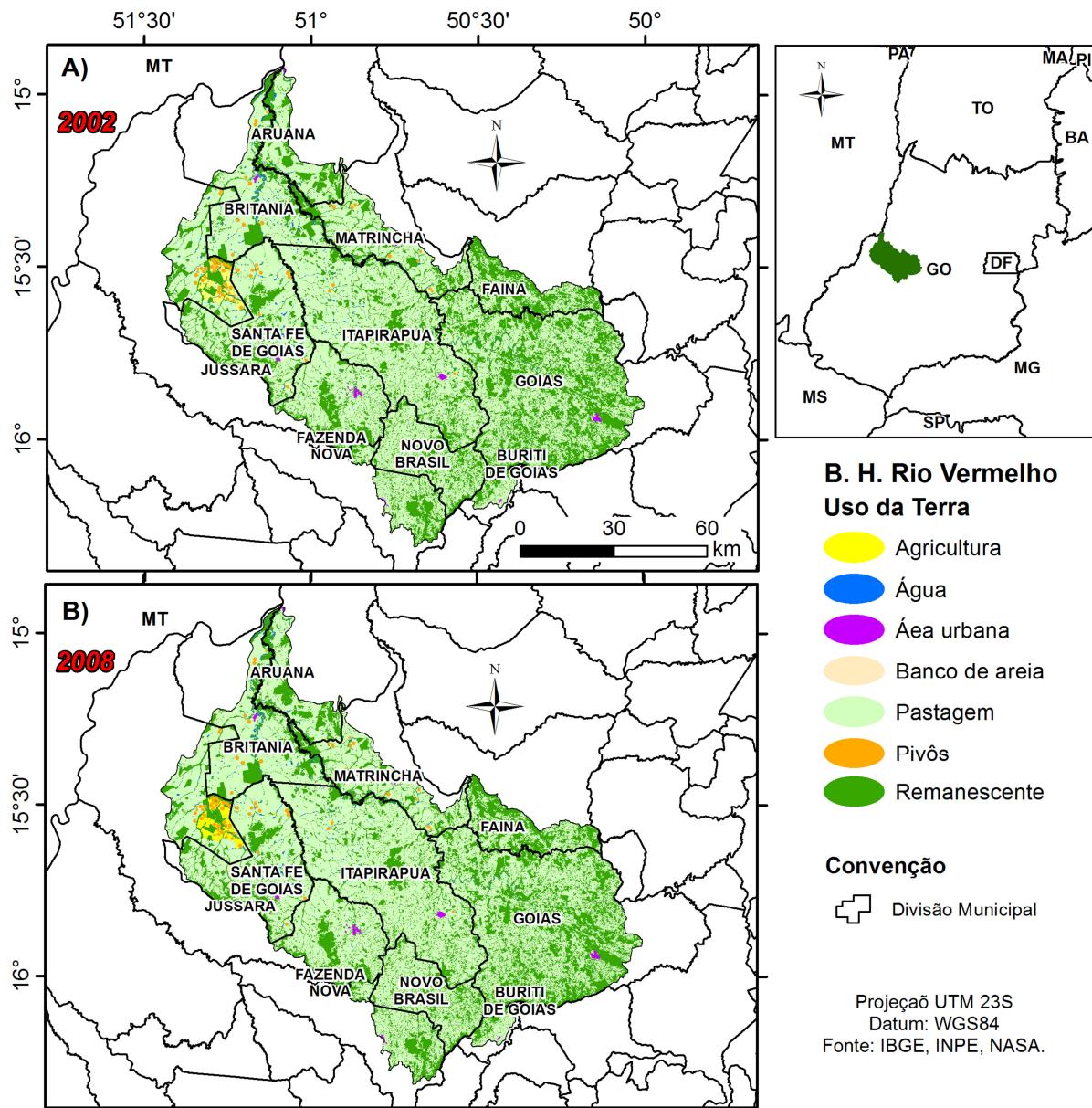


Figura 3.5 – Mapa de uso e cobertura vegetal da terra para a bacia hidrográfica do Rio Vermelho para os anos de 2002 (A) e 2008 (B)

Conforme dados do IBGE para o ano de 2006 (IBGE, 2006), bem como dados de campo, a lotação bovina, com o aumento do padrão tecnológico para o uso de pastagens cultivadas predominando sobre as pastagens naturais, oscila de 0,936 a 1,289 cabeças por hectare ano para o município para Britânia, de 0,741 a 0,935 para Itapirapuã, e de 2,410 a 3,609 para Novo Brasil, respectivamente para a baixa, média e alta bacia (Figura 3.6).

Cabe aqui chamar a atenção para o fato de que as regiões que o (IBGE, 2006) aponta como de maior capacidade de suporte pecuário, ou seja, de 2,410 a 3,609 cabeças

animal hectare/ano, tratam-se justamente das regiões que devido à geologia de rochas cristalinas e compartimentos geomorfológicos movimentados resultam em apresentar uma conversão com padrão geométrico disforme, levando a uma paisagem interdigitada, composta por pastagem cultivada, remanescente e pastagem natural.

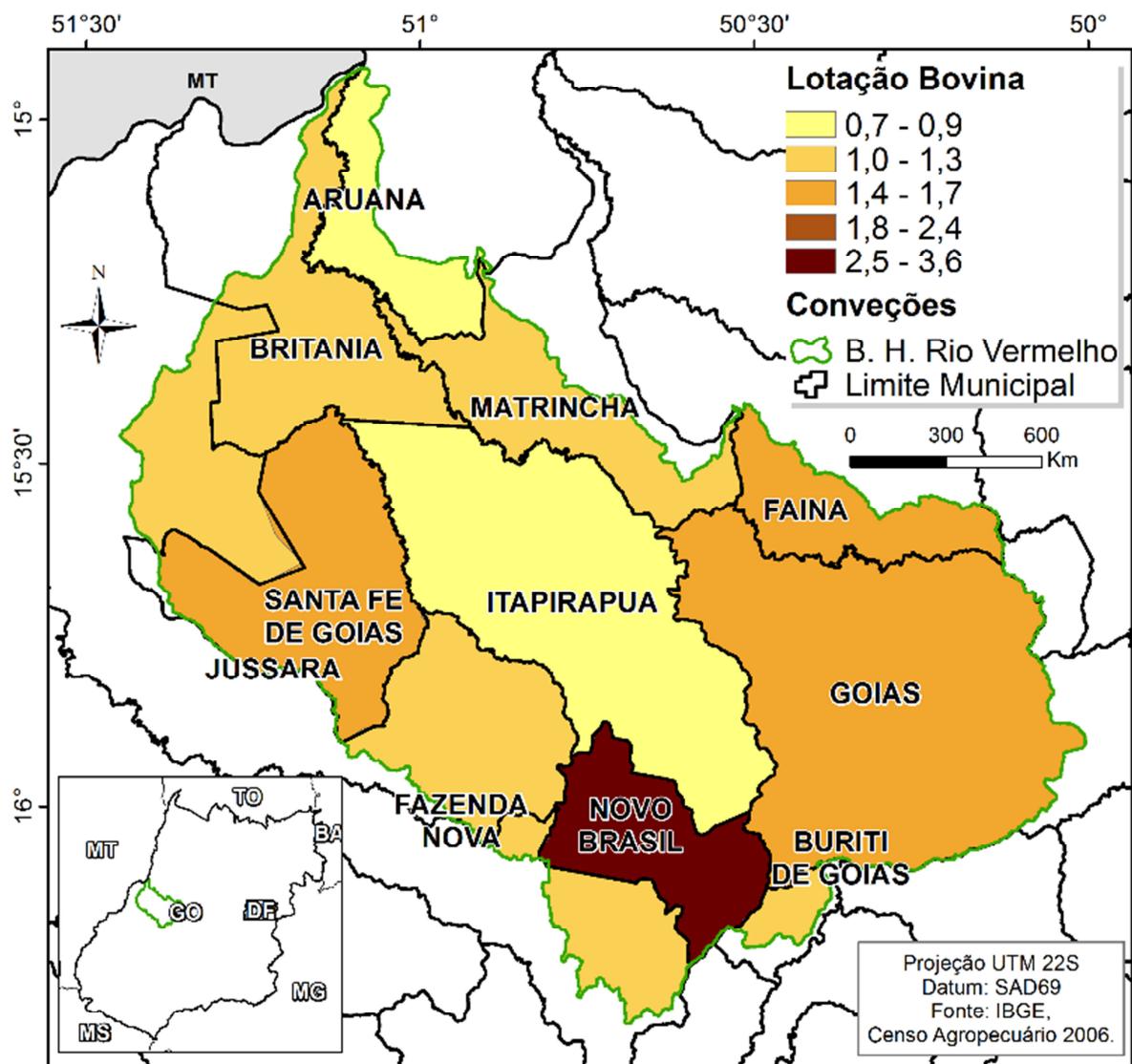


Figura 3.6 – Lotação bovina nos diferentes municípios que integram a bacia do Rio Vermelho

Barcelos (1996) apresenta uma lotação bovina de 0,80 unidade animal/ano/hectare como a capacidade de suporte das pastagens cultivadas no Cerrado. Zimmer e Correa (1993) informam que esta lotação se deve ao mal uso de altas taxas de população animal, o que leva a algum nível de degradação. A isto se somam a falta de adubação e de manutenção (WERNER, 1984; SANZONOWICZ, 1986; MACEDO; ZIMMER, 1993; MACEDO, 1995; OLIVEIRA *et al.*, 1997; MACEDO, 2005; MUELLER; MARTHA JR., 2008). Podemos

observar, figura 6, que as maiores capacidades de suporte se encontram na alta bacia, primeiras áreas a serem ocupadas, portando pastagens cultivadas com mais de 30 anos de uso.

Faz-se ressaltar que, apesar do avanço das áreas de pastagens cultivadas, as pastagens naturais são ainda de grande importância, uma vez que nos meses de agosto a novembro o gado depende desse sistema, possibilitando desta forma o repouso e, consequentemente, maior durabilidade das pastagens cultivadas.

Em desacordo com o Código Florestal Brasileiro, a bacia do Rio Vermelho apresenta significativos passivos ambientais, conforme mostram a tabela 3.2 e 3.3. Já a figura 3.7 (correlação entre Passivo Ambiental e pastagem cultivada por município) evidencia a forte correlação entre uso de pastagem cultivada e passivo ambiental.

TABELA 3.2. PASSIVO AMBIENTAL DA BACIA DO RIO VERMELHO – RIOS, LAGOS, NASCENTES.

Município	Área Hectares APP	Área Km <sup>2</sup> APP	Passivos Ambientais Hectares	Passivo Ambiental Km <sup>2</sup>	Passivo Ambiental %
Aruanã	1.167	12	258	3	22
Britânia	2.728	27	593	6	22
Buriti de Goiás	806	8	492	5	61
Faina	3.005	30	995	10	33
Fazenda Nova	2.608	26	1.669	17	64
Goiás	18.667	187	7.043	70	38
Itapirapuã	10.036	100	4.415	44	44
Jussara	56.590	566	22.993	230	41
Matrinchã	2.970	30	938	9	32
Novo Brasil	56.414	564	22.933	229	41
Santa Fé	5.463	55	2.352	24	40
Total Bacia	160.454	1.605	64.680	647	40

TABELA 3.3. PASSIVO AMBIENTAL EM TERRENOS COM INCLINAÇÃO >45° E ENTRE 25° - 45°.

Classe de Entropia Bacia do Rio Vermelho	Área / hectares (srtm 30m)	Uso (ha)	Passivo Ambiental (ha)	Passivo Ambiental %
>45° Entropia baixa	20, 979	9, 361	9, 361	44,62
25° - 45° Entropia média baixa	2559, 703	209, 401	209, 401	8,18
Total	2580, 682	218, 762	218, 762	8, 476

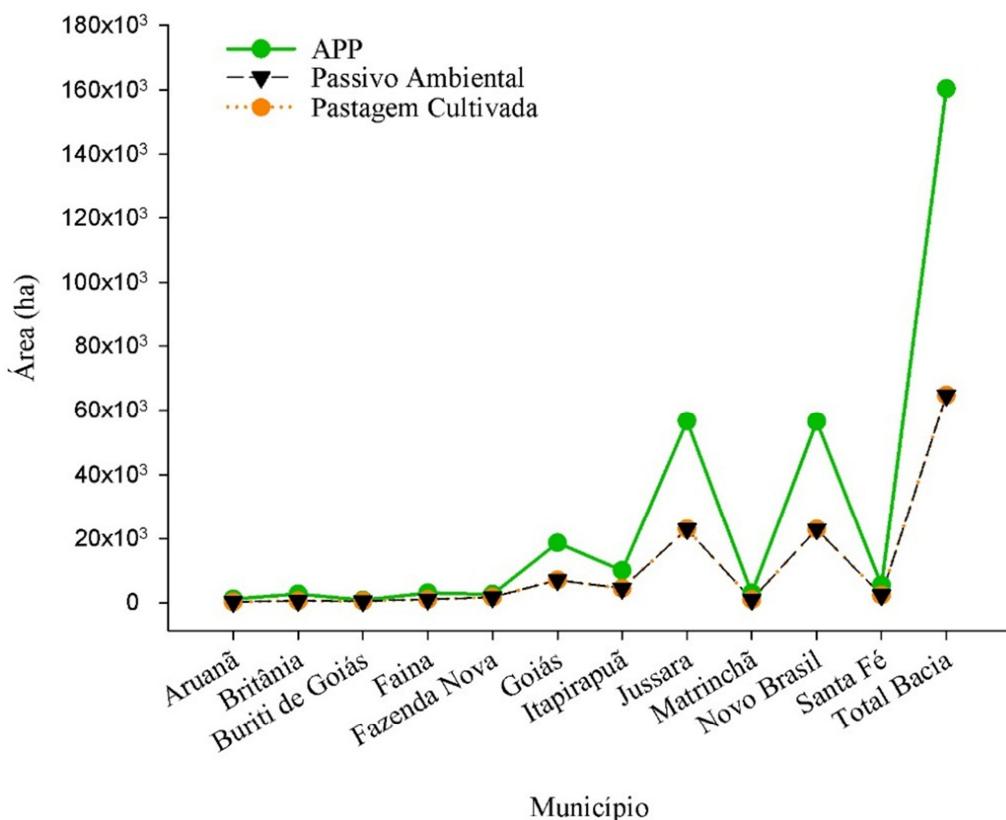


Figura 3.7 – Correlação entre Passivo Ambiental e pastagem cultivada por município

O uso de baixos padrões tecnológicos por sua vez, desencadeou o predomínio do escoamento superficial sobre os processos de infiltração, o que leva a atuação de processos erosivos, tanto os lineares (fluxos concentrados em um direcionamento preferencial formando os sulcos), como os laminares (remoção de partículas em forma de lençol – remoção de níveis superficiais, ou seja, da porção fértil do solo, de difícil percepção visual).

### 3.4.2 Vulnerabilidade e Entropia da Paisagem da Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho

A entropia traduz a quantidade de energia potencial disponível para produzir trabalho geomorfológico, onde a baixa entropia significa alta quantidade de energia disponível no sistema e alta entropia indica energia gasta, isto é, que a superfície já está totalmente aplainada. Desta forma podemos entender a dinâmica de ocupação e uso do Cerrado com relação a áreas de vulnerabilidade natural (VIEIRA et al., 2012).

O avanço da ocupação da bacia hidrográfica do Rio Vermelho para o ano de 1976, no município de Goiás, alta bacia, estava associado às classes de entropia baixa, principalmente associada às planícies de inundações, calha dos rios e aos solos do tipo

Argissolos, em cotas de 600 metros, situados em áreas com geologia intensamente dobrada e falhada, como é o caso da região de Ouro Fino. A ocupação avançou também sobre zonas de alta fragilidade quanto às zonas de falhas e diaclasamento, principalmente na alta bacia. Assim, e ainda de forma lenta, o movimento de massas, por acomodação e perdas de solo pelo processo de “piping”, gerou contaminação do freático, aceleração no processo de lixiviação do solo e aumento potencial da dinâmica de cheias, à exemplo das cheias recorrentes no sítio urbano da cidade de Goiás (Figura 3.8).

Desta forma, as topologias solo e rochas identificadas em áreas apontadas pelo mapa de entropia como classe de baixa e média vulnerabilidade, mostram boa resposta quanto ao processo de ocupação pela pecuária. Predominava até então (1976), na bacia hidrográfica, a pecuária extensiva em pastagens naturais e em propriedades latifundiárias situadas em áreas de classes de entropia alta e média/alta, onde o meio ambiente como um todo se mantinha em bom estado de equilíbrio ambiental. Já quanto à vulnerabilidade aos processos de inundação, estas áreas apresentam sérios problemas a cheias recorrentes, colocando em risco o patrimônio humano material e edificado da Cidade de Goiás, como foi o caso de eventos de inundações recentes de 1989, 2001 e 2011.

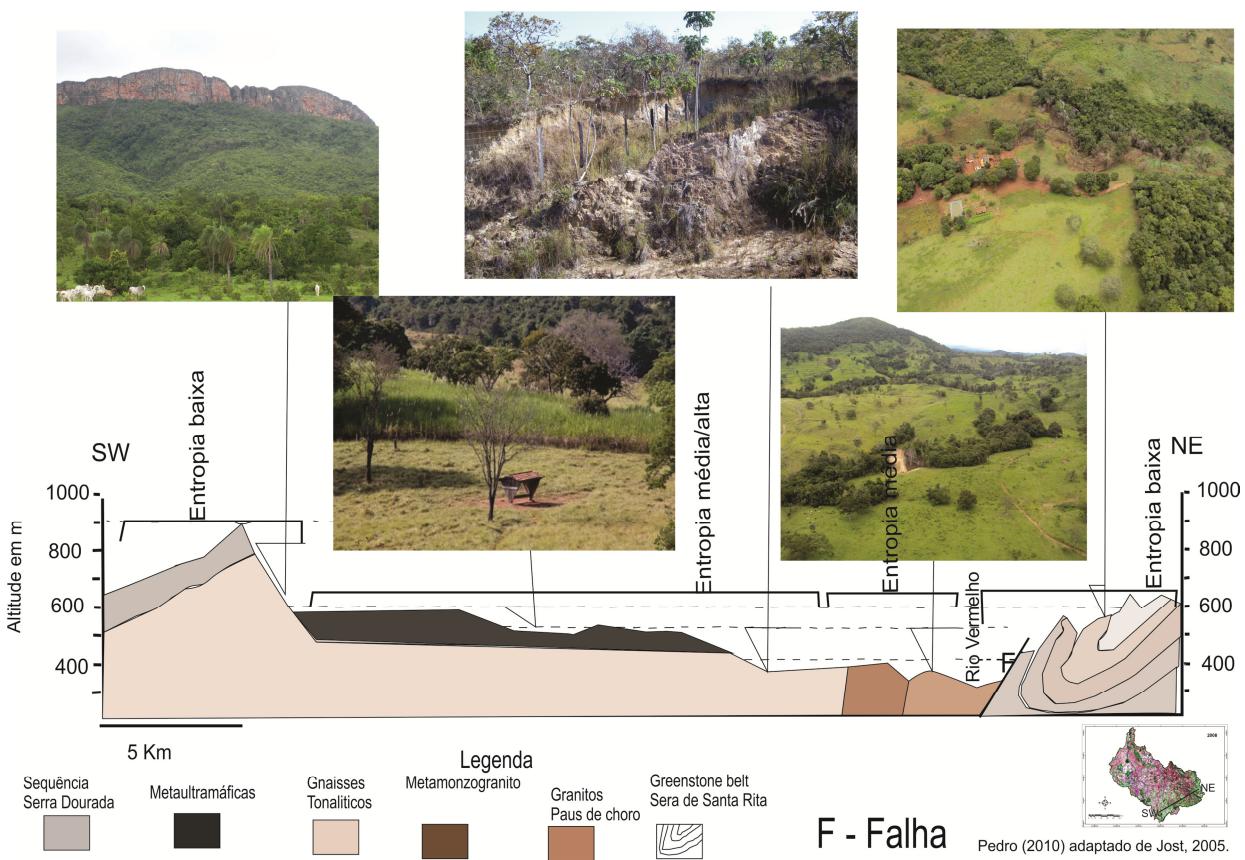


Figura 3.8 – Perfil transversal da bacia hidrográfica do Rio vermelho e processos de antropização

Já na década seguinte, entre 1976 a 1987, aproximadamente 30% da bacia foi incorporada ao novo sistema produtivo com áreas de pastagens cultivadas e é, neste momento, que a ocupação avança efetivamente sobre áreas identificadas com classes de entropia médias e baixas na bacia como um todo, avançando sobre terrenos movimentados, áreas encharcadas e sobre a planície fluvial, lagos e paleocanais (Figura 3.9).

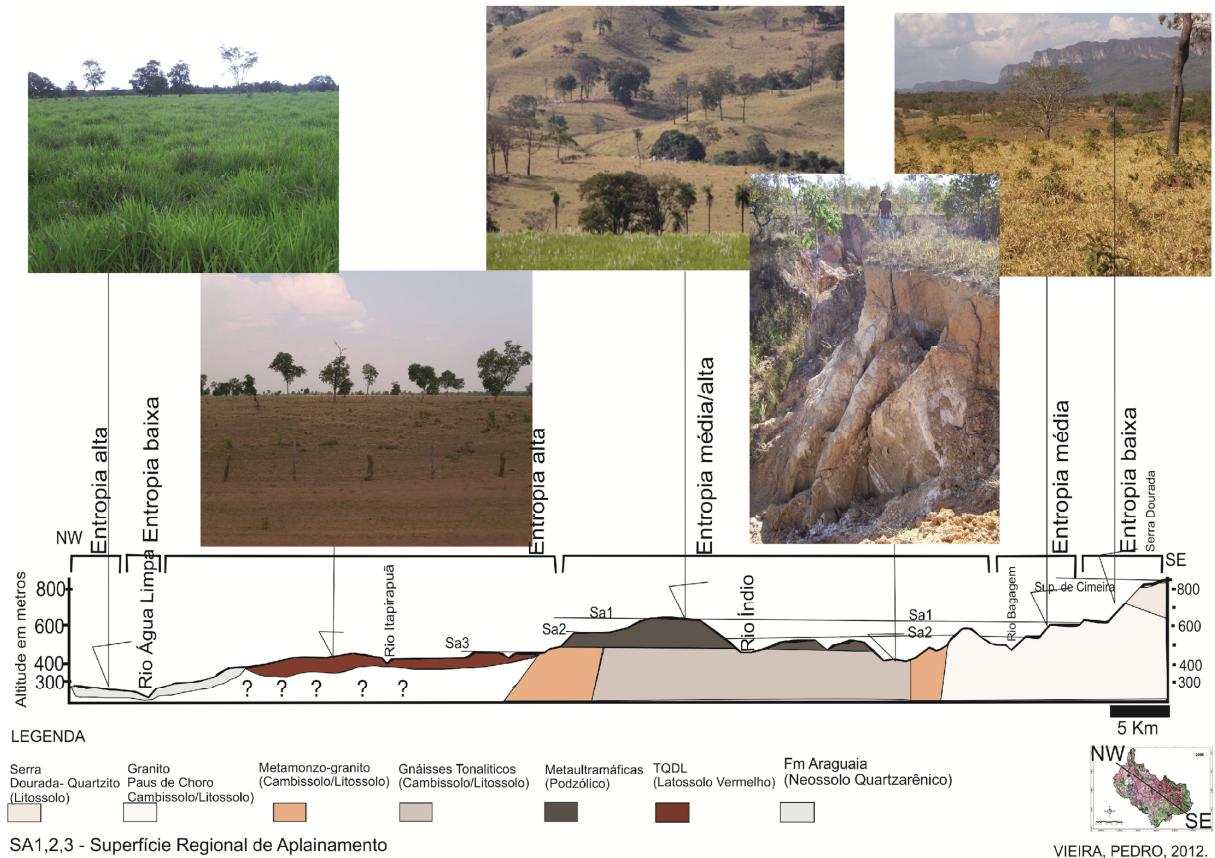


Figura 3.9 – Perfil longitudinal da bacia hidrográfica do Rio vermelho e processos de antropização

Cabe ressaltar que dos onze municípios que integram a bacia hidrográfica do Rio Vermelho, nove são os que apresentam maior proporção de áreas na classe de entropia baixa, sendo: Goiás, Faina, Faz. Nova, Novo Brasil, Jussara, Buriti de Goiás, Itapirapuã, Santa Fé e Matrinchã, respectivamente, em ordem decrescente de área, com representatividade na bacia de aproximadamente 4% (ou seja, 432 km<sup>2</sup>). Com exceção do município de Itapirapuã, Britânia e Aruanã, os demais se encontram na borda e alta bacia.

A bacia demonstra então uma configuração com superfícies de cimeira limitantes, com áreas predominando na classe de baixa e média entropia e, à medida que a ocupação avança sobre estas áreas, no período entre 1976-87, coloca em movimento a estruturação geral da bacia no sentido SW para NE, em virtude do alto potencial de energia disponível na

produção do trabalho geomorfológico, ou seja, grande quantidade de carga sedimentar em direção ao sistema hidrológico principal, o Rio Vermelho.

Fica evidente a forma generalizada de ocupação que, a partir da década de 1980, avança a uma taxa de 300 km<sup>2</sup> ano, agora sobre áreas próprias e impróprias, convertendo áreas do bioma localizadas sobre a classe de baixa entropia, isto é, alta vulnerabilidade natural, ocasionando danos incalculáveis ao sistema ambiental, em particular o empobrecimento do solo por desencadeamento de processos erosivos (e consequentemente assoreamento do sistema hidrológico), com severos prejuízos ao sistema produtivo.

Estes impactos são potencializados devido ao uso de baixos padrões tecnológicos de produção sobre áreas impróprias da bacia hidrográfica do Rio Vermelho, afetando de formas irreversíveis duas variáveis intimamente interconectadas e imprescindíveis à sobrevivência do homem: o solo e a água.

Fazendo uso de correlações por semelhança entre usos e variáveis naturais (rocha, solo, relevo, declividade, tectônica e regime de precipitação) tem-se a área de semelhança de ~ 5.000 Km<sup>2</sup>, que logo resulta aproximadamente em uma perda de solo para a alta bacia na ordem de 2.000.000 ton/ano.

Assim, temos para a alta bacia do Rio Vermelho, observações de empobrecimento do solo na ordem de 138,83 ton/ano para uma sub-bacia (área teste), com área de 0,30 Km<sup>2</sup> (30 hectares), e de ~ 2.300.000 ton/ano de sedimento na fração silte/argila para 5.000 Km<sup>2</sup> de áreas semelhantes da alta bacia, conforme mostra a figura 3.10.



Figura 3.10 – Perda de solo por processo erosivo laminar na alta bacia do Rio Vermelho

O local selecionado, seu curso médio na região do Distrito de Buenolândia, local de *knickpoint*, causado por falhamentos formando no local uma zona de trapeamento geológico, onde se começa a formação de uma área de deposição, zona de ruptura de declive entre a alta e média bacia, estima-se, para o ciclo anual 2008/2009, a entrada na calha do Rio Vermelho de 42.000 ton/ano de sedimentos na classe granulométrica areia grossa, local onde o rio apresenta bancos arenosos de até 3,0 (três) metros de espessura em sua calha (Figura 3.11).



Figura 3.11 – Carga de fundo na média bacia do Rio Vermelho

Ainda que, teoricamente, áreas que apresentem predomínio de classe de entropia média e alta são de baixa vulnerabilidade natural diante dos processos produtivos, com baixo potencial erosivo linear, estas mesmas áreas são vulneráveis aos processos de iluviação (carreamento de nutrientes do solo pelo processo de remobilização vertical comum a solos com alta porosidade e permeabilidade em clima tropical) como é o caso da baixa bacia região dos municípios de Santa Fé, Jussara, Britânia, Aruanã, onde foi identificado, a um nível de profundidade de 2,0 metros, uma crosta laterítica nodular com ~ 2,3 metros de espessura.

De tal forma, podemos correlacionar a entropia da paisagem com vulnerabilidade natural. Faz-se assim, destacar dois padrões de uso e ocupação para bacia hidrográfica do Rio Vermelho: baixa bacia, em classe de entropia alta, uma ocupação a partir dos eixos viários, com uma geometria retangular bem definida, onde o avanço de estradas sobre estas áreas possibilitou a expansão dos limites inicialmente estabelecidos; enquanto na alta bacia, principalmente a partir dos eixos ditados pela GO 070, no trecho que liga as cidades de Goiás

e Itapirapuã, e a GO 164, que liga Goiás a Faina, a ocupação deu-se em áreas mais propícias do ponto de vista pedológico, às quais, menos abundantes, geram padrões de polígonos amorfos e descontínuos.

### **3.5 CONSIDERAÇÕES**

O diagnóstico ambiental do bioma Cerrado deve, necessariamente, passar pela compreensão do seu processo histórico de ocupação e uso, levando-se em conta a bacia hidrográfica nele inserida, considerando as variáveis naturais, entropia da paisagem e atividades antrópicas. Pois áreas que teoricamente ocupam regiões de vulnerabilidade natural como, por exemplo, as planícies de inundação ocupadas desde a primeira frente de ocupação, em virtude da geologia (terraço detritico-laterítico) mostraram uma boa sustentabilidade dos taludes do sistema hidrológico.

A determinação das respostas da fragilidade natural do bioma Cerrado quanto à sua dinâmica e aos diferentes níveis de uso do solo, apresenta-se como um bom instrumento que pode ser aplicado preventivamente na busca por maior qualidade ambiental, no uso sustentável dos recursos naturais pelo sistema produtivo, na sua viabilidade econômica e social, no processo de gestão ambiental e na identificação de áreas urbanas com elevada vulnerabilidade natural às enchentes, inundações e deslizamentos de terras.

Em face de 65,5% de áreas convertidas da bacia e dos diferentes níveis de pressão antrópica com predomínio de pastagem, uma grande área de pastagem degrada, acreditamos que o uso com manejo e recuperação destas pastagens em conjunto com um reordenamento quanto à ocupação em alguns pontos poderemos efetivamente aumentar a capacidade de suporte de bovinos, bem como vislumbrar um maior equilíbrio quanto a perca de solo, riscos de inundação em áreas urbanas, recuperação da qualidade e da vazão dos cursos da água, restabelecendo assim o equilíbrio entre os processos morfogenéticos – pedogenéticos, consequentemente, a dinâmica geomorfológica fluvial e a biodiversidade desta importante região ecogeográfica.

Assim, é possível subsidiar o Poder Público com informações que possam orientar políticas públicas mais sustentáveis do ponto de vista socioeconômico e ambiental quanto ao uso e ocupação do bioma Cerrado.

### **3.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ANACLETO, T. C.; MIZIARA, F. *Expansão de fronteiras e ocupação do espaço no*

**cerrado: o caso de Goiás.** Geografia, Rio Claro-SP, v. 31, n. 3, p. 527-538, set./dez. 2006.

BARCELOS, A. O. **Sistemas extensivos e semiextensivos de produção pecuária bovina de corte nos cerrados.** In: SIMPÓSIO SOBRE OS CERRADOS, 8.; Internacional Symposium on tropical savanas, 1., 1996, Brasília. Biodiversidade e produção sustentável de alimentos e fibras no cerrado. Planaltina, 1996. Anais. p. 130-136, 1996.

BAYER, M. **Dinâmica do transporte, composição e estratigrafia dos sedimentos da planície aluvial do Rio Araguaia.** p.104f. **Tese de Doutorado.** Programa Multidisciplinar de Doutorado em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Goiás, 2010. 104p.

BERTRAND, G. Paysage et géographie physique globale: esquisse méthodologique. **Revue géographique des Pyrénées et sud-ouest**, v. 39, fasc. 3, p. 249-272, 1968.

BEZERRA, L. M. C. O desenvolvimento agrícola da região Centro-Oeste e as transformações no espaço agrário do Estado de Goiás. **Caminhos de geografia**, v. 2, n. 14, p. 29-49, 2004.

BRASIL. **Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. Institui o novo Código Florestal Brasileiro.** Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, 1965.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**, 2º ed. São Paulo, Edgard Blücher. 188p. 1980.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais.** 1ª ed. São Paulo, Edgard Blucher, 1999.

DNPM. Departamento Nacional de Produção Mineral. **6º DS.** Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/>>. Acessado: 20 de setembro de 2010.

EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solo. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 2 ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2006.

ESTEVAM, L. **O tempo da transformação – estrutura e dinâmica da formação econômica de Goiás.** Goiânia, ed. do autor, 1998.

FORTES, P. T. F. O. Metalogenia dos Depósitos Auríferos Mina III,Mina Nova e Mina Inglesa, Greenstone Belt de Crixás, Goiás. **Tese de Doutorado**, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília. 207 p. 1995.

HARD, J.; FUCK, R.; DANTAS, E. L.; RANCAN, C. C.; REZENDE, D. B.; SANTOS, E.; PORTELA, J. F.; MATTOS, L.; CHIARINI, M. F.; N.; OLIVEIRA, R. C.; SILVA, S. E. Geologia e geocronologia do complexo Uvá, bloco Arqueano de Goiás. **Revista Brasileira de Geociência**, v 35, 2005.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2006: Brasil, Grandes Regiões e Unidades da Federação.** Rio de Janeiro. 777p. 2006

LATRUBESSE, E. M.; CARVALHO, T. M. **Geomorfologia do Estado de Goiás e Tocantins.** Secretaria de Indústria e Comércio. Superintendência de Geologia e Mineração. Estado de Goiás, Goiânia. 128p. 2006.

LATRUBESSE, E. M.; AMSLER, M. L.; MORAIS, R. P.; AQUINO, S. The geomorphologic response of a large pristine alluvial river to tremendous deforestation in the South American tropics: The case of the Araguaia River. *Geomorphology*, v. 113, n. 4, p. 239-252, 2009.

MACEDO, M. C. M. Pastagem no ecossistema Cerrado: evolução das pesquisas para o desenvolvimento sustentável. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA. Goiânia. *Anais*. p. 36-84, 2005.

MACEDO M. C. M.; ZIMMER. A. H. Sistema pasto-lavoura e seus efeitos na produtividade agropecuária. IN: SIMPÓSIO SOBRE ECOSISTEMA DE PASTAGENS. Jaboticabal-SP, 1993. *Anais*. p. 216-245, 1993.

MACEDO, M. C. M. Pastagens no ecossistema do cerrado: pesquisas para o desenvolvimento sustentável. In: ANDRADE, R. P.; BARCELOS, A. O.; ROCHA, C. M. C. (eds.). SIMPÓSIO SOBRE PASTAGENS NOS ECOSSISTEMAS BRASILEIROS - PESQUISAS PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. Brasília, 1995. *Anais*. p. 28-62, 1995.

MARTINS, J. S. **Fronteira: a degradação do outro nos confins do humano**. São Paulo, Contexto. 192p. 2009.

MIZIARA, Fausto; FERREIRA, Nilson Clementino. Expansão da fronteira agrícola e uso do espaço no estado de Goiás: subsídio à política ambiental. In: FERREIRA JÚNIOR, L. (Org). **Encruzilhada Socioambiental – biodiversidade, economia e sustentabilidade no cerrado**. Goiânia, UFG, p. 107-125, 2008.

MONTALVÃO, R. M. G. Evolução Geotectônica dos Terrenos Granito - Greenstone de Crixás, Guarinos e Pilar-Hidrolina. **Tese de Doutorado**, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 372p. 1985.

MUELLER, O. C.; MARTHA JR., G. B. **A agropecuária e o desenvolvimento socioeconômico recente do cerrado**. Disponível em: <<http://simposio.cpac.embrapa.br/palestras/conferencia3/conferencia3charles.pdf>>. Acesso: 12/06/2012.

OLIVEIRA, O. C.; OLIVEIRA, I. P.; FERREIRA, E. A baixa disponibilidade de nutrientes do solo como uma causa potencial da degradação de pastagens no cerrado. IN: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS. Ouro Preto. *Anais*. p. 110-117, 1997.

PALACÍN, L.; AUGUSTA M. **História de Goiás**. 6 ª ed. Editora UCG, Goiânia, 1995.  
\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_. **O século do Ouro em Goiás**. Editora UCG, Goiânia, 1994.

RESENDE, M. G. Stratigraphy of the Goiás and Faina Greenstone belts, Central Brasil: A New Proposal. **Revista Brasileira de Geociência**, v. 28, n. 1, p. 177-94, 1998.

SANO, E. E.; DAMBRÓS, L. A.; OLIVEIRA, G. C.; BRITES, R. S. Padrões de cobertura de solos do Estado de Goiás. In: FERREIRA JÚNIOR, L. (Org). **Encruzilhada Socioambiental – biodiversidade, economia e sustentabilidade no cerrado**. Goiânia, UFG, p. 91-106, 2008.

SANZONOWICZ, C. Recomendação e prática de adubação e calagem na região centro-oeste do Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE CALAGEM E ADUBAÇÃO DE PASTAGENS. Nova Odessa, 1985. **Anais**. p. 309-334, 1986.

SCARAMUZZA, C. A. M.; MACHADO, R. B.; RODRIGUES, S. T.; RAMOS NETO, M. B.; PINAGÉ, E. R.; DINIZ FILHO, J. A. F. Áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade em Goiás. In: FERREIRA JÚNIOR, L. (Org). **Encruzilhada Socioambiental – biodiversidade, economia e sustentabilidade no cerrado**. Goiânia, UFG, p. 13-66, 2008.

SILVA, A. C. S. **Mato Grosso permanece grande e forte: a economia mato-grossense após a divisão**. Goiânia, Única, 1982.

TEIXEIRA, A.S. Geologia da região de Goiás-Faina: Simpósio de Geologia Centro-Oeste. Goiânia, 1981. **Anais**. p. 344-360, 1981.

TOMAZZOLI, E. R. Geologia, Petrologia, Deformação e Potencial Aurífero do Greenstone Belt de Goiás (GO). **Dissertação de Mestrado**, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília. 206p. 1985.

TRICART, J.; KILIAN, J. **La Eco-Geografía y la ordenación del medio natural**. Barcelona, Anagrama, 1982.

VALENTE, C. R. Geotectonic, geologic evolution and regional geomorphology of the Araguaia river basin, Central Brazil. Tese de Doutorado. Programa Multidisciplinar de Doutorado em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Goiás. 204p. 2007.

VIEIRA, P. A. Caracterização das Unidades Geomorfológicas Geoambientais da Planície do Bananal. **Dissertação de Mestrado**. Instituto de Estudos Sócio-Ambientais, Universidade Federal de Goiás. 148p. 2003.

VIEIRA, P. A.; FERREIRA, N. C.; FERREIRA, L. G. J. **Análise da vulnerabilidade natural da paisagem em relação aos diferentes níveis de ocupação da bacia hidrográfica do rio vermelho**. Goiás, 2012. *Submetido*.

ZIMMER, A. H.; PIMENTEL, D. M.; VALLE, C. B. et al. **Aspectos práticos ligados à formação de pastagens**. Campo Grande, Embrapa Gado de Corte. 42p. (Embrapa Gado de Corte. Circular Técnica nº12). 1992.

ZIMMER, A. H.; CORREA, E. S. A pecuária nacional, uma pecuária de pasto. In: ENCONTRO SOBRE RECUPERAÇÃO DE PASTAGENS. Nova Odessa, 1993. **Anais**. p. 1-25, 1993.

WERNER, J. C. Adubação de pastagens. Nova Odessa, Instituto de Zootecnia. 49p. (Boletim Técnico,18). 1984.

## **4 OCUPAÇÃO E USO DA TERRA NA BACIA DO RIO VERMELHO: ARTICULAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS NATURAIS E ANTRÓPICAS**

### **4.1 INTRODUÇÃO**

O Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro, com uma área aproximada de dois milhões de km<sup>2</sup> (quase 22% do território nacional), atrás em extensão, na América do Sul, apenas da Amazônia. Este bioma também é reconhecido no mundo como um dos mais ricos ambientes de savana, em face da sua peculiar biodiversidade, tipos de solos (RATTER et al., 1997; MYERS et al., 2000) e recursos hídricos (COSTA et al., 2003; LIMA; SILVA, 2008).

Dentre os estados da federação, Goiás, com 340 mil Km<sup>2</sup>, aparece totalmente inserido no limite do Cerrado (aproximadamente 20% da área total do bioma). Levantamentos do Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira - PROBIO / Cerrado (SANO et al., 2008) apontam para uma redução de sua área nativa na ordem de 40% (~ 800 mil km<sup>2</sup>); tal ocupação ocorreu em apenas algumas décadas, fato este que reforça a condição de “hotspot” para a conservação da biodiversidade (MYERS et al, 2000).

Sobre este processo de ocupação no Cerrado, seu início se dá com os “bandeirantes” (desbravadores pioneiros) no século XVII e com a descoberta de ouro, no século XVIII (SILVA, 1982; ESTEVAM, 1998).

Dessa forma, a fertilidade do solo, a topografia e a pequena distância das frentes de lavra, parecem controlar nesta fase o uso e a ocupação do Cerrado pela agricultura. A bacia hidrográfica do Rio Vermelho – nosso objeto de análise – reproduz essa ocupação inicial, baseada na mineração. Solos enriquecidos em elementos menos solúveis (Fe, Al, Si) – os Latossolos Vermelho-Amarelo e Vermelho (EMBRAPA, 2006) –, predominam nesta bacia.

Uma vez que as atividades de mineração ocorriam principalmente em áreas de aluvião (i.e., depósitos de sedimentos clásticos, como areia, cascalho e/ou lama), associadas ao sistema hidrológico nos fundos de vales, parte da bacia do Rio Vermelho foi sendo ocupada pela agricultura, enquanto a mineração ocupou as calhas dos principais rios: Vermelho, Ferreira, Bugre e Uva. Estes rios têm suas nascentes drenando a porção alta da bacia, área sustentada por uma paisagem sobre rochas cristalinas com alto potencial a mineralizações auríferas e relevo movimentado (TEIXERA, 1981; MONTALVÃO, 1985; TOMAZZOLI, 1985; FORTES, 1995; RESENDE, 1998; HARD et al., 2005), com solo predominante da classe dos Cambissolos.

Inevitavelmente, o processo de ocupação passou a ocorrer em áreas de alta vulnerabilidade natural, acarretando já naquela época grandes transformações que

prejudicavam, principalmente, o sistema pedológico e hidrológico, através do aumento do aporte de sedimentos por processos erosivos na calha fluvial (VIEIRA et al., 2012).

Devido a uma cobertura Detritica Laterítica que dá sustentação a um terraço fluvial suspenso, o qual acompanha os principais curso de água (HARD et al., 2005) ao longo de toda bacia, o sistema fluvial apresenta padrões de estabilidade lateral dos canais, evidenciando, assim, o predomínio de erosão da bacia e sedimentação do canal. Esta dinâmica difere do curso médio do Rio Araguaia, onde desagua o Rio Vermelho, o qual apresenta trechos com padrões distintos de instabilidade lateral do canal, revelando o predomínio da sedimentação sobre os processos de erosão (BAYER, 2002; MORAIS, 2006; LATRUBESSE et al., 2009).

Este trabalho tem por referência o entendimento de que a dinâmica dos diferentes níveis de uso, a história da ocupação e os processos morfogenéticos estão intrinsecamente associados à dinâmica de evolução natural da superfície terrestre (CHISTOFOLLETI, 1979). Além disso, há um entendimento de que a paisagem é reflexo da combinação dinâmica de elementos físicos (geologia, relevo, tectônica, pedologia) (CHISTOFOLLETI, 1999; TRICART; KILIAN, 1982; BERTRAND, 1968), biológicos e antrópicos, numa determinada porção da superfície geográfica (BERTRAND, 2004), somada à interdependência de alimentação e retroalimentação entre as inúmeras variáveis envolvidas no processo de construção da paisagem natural (CREPANI et al., 1996; 2004).

Busca-se, portanto, avaliar as possíveis relações, contribuições e dinâmicas entre as diferentes variáveis que compõe a paisagem natural, bem como as influências que as variáveis orientadoras, tais como fertilidade de solo, malha viária, uso do solo, declividade e áreas convertidas têm no processo de ocupação desta região do bioma Cerrado, em dois períodos: tempo T1 (ano de 1976) e T2 (ano de 1987).

Desta forma, a partir da integração destas variáveis orientadoras, espera-se obter um melhor entendimento acerca da dinâmica entre as variáveis naturais e antrópicas, e o processo de ocupação. Tal dinâmica será testada com base na probabilidade de transição de cada célula da paisagem em atividade antrópica, ao longo do tempo e do espaço, conforme metodologia de (SOARES FILHO et al., 2002; FERREIRA et al, 2012).

## **4.2 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **4.2.1 ÁREA DE ESTUDO**

A bacia hidrográfica do Rio Vermelho, localizada no limite oeste do Estado de

Goiás, ocupa uma área de 10.824,60 km<sup>2</sup> entre os municípios goianos de Cidade de Goiás (alta bacia) e Aruanã (baixa bacia), com Latitudes 14°55' e 16°20' Sul e Longitudes 50°00' e 51°30" Oeste. Intersectam seus limites os municípios de Goiás, Aruanã, Matrinchã, Britânia, Jussara, Santa Fé de Goiás, Fazenda Nova, Novo Brasil, Buriti de Goiás, Faina e Itapirapuã (totalmente inserido na bacia) (Figura 4.1).

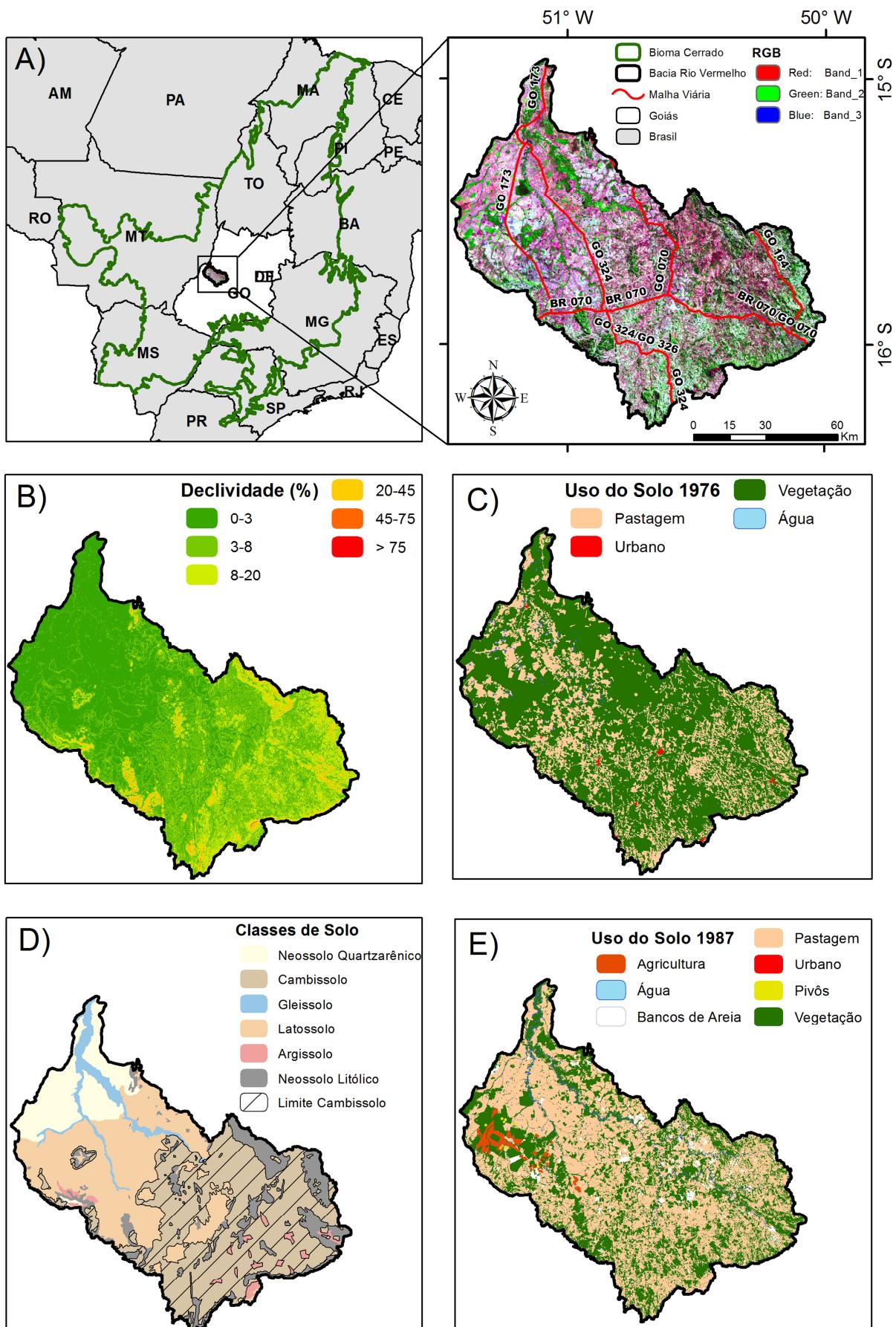


Figura 4.1 – Mapa de Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho (A), com destaque para as variáveis declividade (B), uso do solo em 1976 e 1987 (C e E), solo (D)

#### 4.2.2 BASES DE DADOS E PROCEDIMENTOS

Inicialmente, e considerando a totalidade da área abrangida pela bacia hidrográfica do Rio Vermelho, foi organizada uma base de dados geográfica vetorial (ex. limites políticos, drenagens, estradas, solos, etc.)<sup>3</sup> e satelitária (Landsat 5 - TM, cenas 239/70 e 239/71, obtidas em agosto de 1987, e Landsat - MSS para o ano de 1976), a partir das quais elaborou-se os mapas de cobertura e uso da terra para estes dois momentos (Figura 4.1). Tais mapas foram validados em três etapas de campo (junho, novembro e dezembro de 2010).

O procedimento para validação foi feito utilizando de uma matriz de erro, de tal forma, foi utilizado o arquivo vetorial (*shapefile*) da classificação para o ano de 1987 e os pontos de controle de campo, cujo objetivo foi de verificar a acurácia da classificação supervisionada do uso e cobertura vegetal da terra realizada para a bacia hidrográfica do Rio Vermelho referente ao ano de 1987. Para tal procedimento, foi realizada intersecção com os pontos de campo e o *shapefile* da classificação supervisionada para anexar as informações das duas tabelas em uma, agrupando, dessa forma, os atributos dos pontos em campo com as classes obtidas pelo mapeamento de uso da terra, sendo elas: agricultura, água, bancos de areia, pastagem, perímetro urbano, pivôs e Vegetação natural. Após a intersecção, atribuímos a numeração 0 (zero) para as classes de campo que não coincidiam com a classificação e -1 para as classes que coincidiram. Por fim, contam-se os pontos com numeração -1 e dividi esse valor pelo número total de pontos para cada classe da classificação supervisionada.

De posse dos mapas de uso da terra, elegemos o ano de 1976 como marco zero (data com disponibilidade das primeiras séries de imagens Landsat) e o ano de 1987, este último por representar a consolidação do processo de ocupação na bacia. Ambos os momentos marcam bem a principal taxa de conversão, os diferentes níveis de ocupação, bem como espacializa a dinâmica de uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do Rio Vermelho.

Para fins de análise física, e tendo por base a relação direta entre hipsometria, declividade, geomorfologia e arcabouço geológico, a bacia do Rio Vermelho foi dividida em quatro domínios principais de aplainamento: Superfície de cimeira (800 a 1.050 metros), sustentada pelos *greenstone belts* de Santa Rita e quartzitos da Serra Dourada; Superfície de aplainamento SA1 (600 a 800 metros), com relevo ondulado a fortemente ondulado, sob forte controle tectônico, definida pelos gnaisses, cóluvios do *Hogback* da Serra Dourada, metaultramáficas e partes arrasadas dos *greenstone belts*; Superfície de aplainamento SA2 (450 a 600 metros), definida por granitos, gnaisses, cobertura detrito-laterítica e Superfície de

---

<sup>3</sup> Disponíveis através do Sistema de Informações Estatísticas e Geográficas para o Estado de Goiás (SIEG, [www.sieg.go.gov.br/](http://www.sieg.go.gov.br/)).

aplaínamento SA3 (220 a 450 metros), associada às coberturas detrito-lateríticas e sedimentos arenosos da Formação Araguaia, bem como sedimentos inconsolidados de idades holocênicas da planície aluvial (figura 4.2).

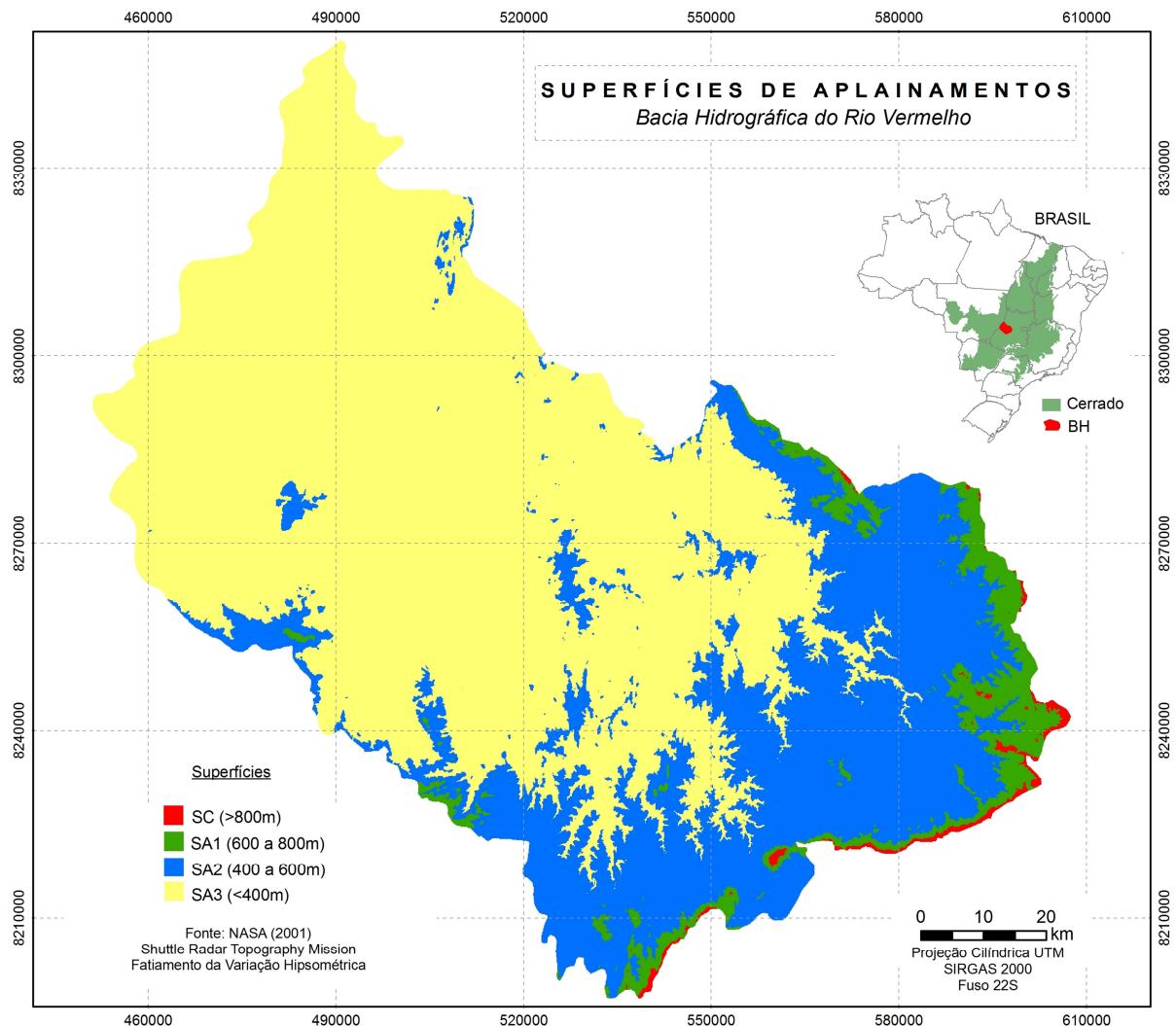


Figura 4.2 – Variação hipsometrica na bacia do vermelho (dados SRTM), comparativamente às superfícies de aplaínamento e lineamentos estruturais

Em relação à declividade, esta foi dividida nas seguintes classes: de 0 a 3%, 3 a 8%, 8 a 20%, 20 a 45%, e >75% (Figura (4.1B e 4.2), onde hipsometria, declividade e superfície de aplaínamento se relacionam da seguinte forma: predomínio da declividade de 0 a 8,0% na faixa hipsométrica baixa e processos erosivos relacionados à Superfície de Aplainamento mais recente – SA3; declividade de 8,1 a 20% relacionada principalmente à hipsometria média e Superfície de Aplainamento SA2; declividade de 20,1 a 45% relacionada à hipsometria alta e Superfície de Aplainamento SA1; declividade >45%, relacionada às áreas com altos valores hipsométricos e superfícies de cimeira.

Do ponto de vista de Entropia do Relevo, a bacia foi fatiada em quatro classes: baixa, média, média/alta e alta, apresentando uma paisagem com área significativa com baixa entropia e, portanto, de alta vulnerabilidade natural (VIEIRA et al., 2012). Já do ponto de vista do uso antrópico, há um grande predomínio da pecuária extensiva, com uma pequena agricultura de subsistência familiar, seguido por um novo ciclo de mineração, conforme apresentado por (VIEIRA et al., 2012).

Quanto à dinâmica de estruturação da bacia, esta foi determinada com base em dados do SRTM e dados de campo, onde foi identificado o principal rumo e sentido dos processos geomorfológicos no sentido sudoeste para nordeste, em concordância com a tectônica apresentada por (VIEIRA, 2003; VALENTE, 2007; BAYER, 2010), com predomínio dos processos denudacionais (erosivos), conforme destacado por (LATRUBESSE, et al., 2006). O sistema pedológico foi estabelecido a partir de dados do (IBGE, 1999), refinado com dados de campo, e dividido em seis classes: Cambissolo, Latossolo, Neossolo Quartzarênico, Argissolo, Gleissolo e Neossolo Litólico (Figura 4.1D).

Por fim, procedeu-se à avaliação sobre a influência das variáveis fertilidades do solo, malha viária e distâncias das áreas convertidas sobre a dinâmica de ocupação e intensidade no uso das terras, e suas implicações na vulnerabilidade natural da bacia, considerando a sustentabilidade socioeconômica e ambiental nas diferentes paisagens que compõem este sistema geográfico.

A base de dados para a plataforma DINAMICA foi preparada com (1) a conversão das bases de dados vetoriais (malha viária e o mapa de uso e cobertura do solo em 1976 e 1987) para o formato *raster*, com tamanho de *pixel* de 0,5 km. Todas as camadas de imagem receberam a mesma resolução espacial (i.e., mesmo número de linhas e colunas) e propriedades cartográficas (Projeção Geográfica, sistema de coordenadas em graus, elipsoide WGS 84). Com relação à imagem de declividade, esta foi gerada a partir dos dados SRTM, obtidos na EMBRAPA monitoramento por satélite. A declividade foi então reclassificada em intervalos iguais e reamostrada para a resolução de 0,5 km. A (Figura 4.3) ilustra o procedimento realizado na plataforma DINAMICA, por meio de um fluxograma.

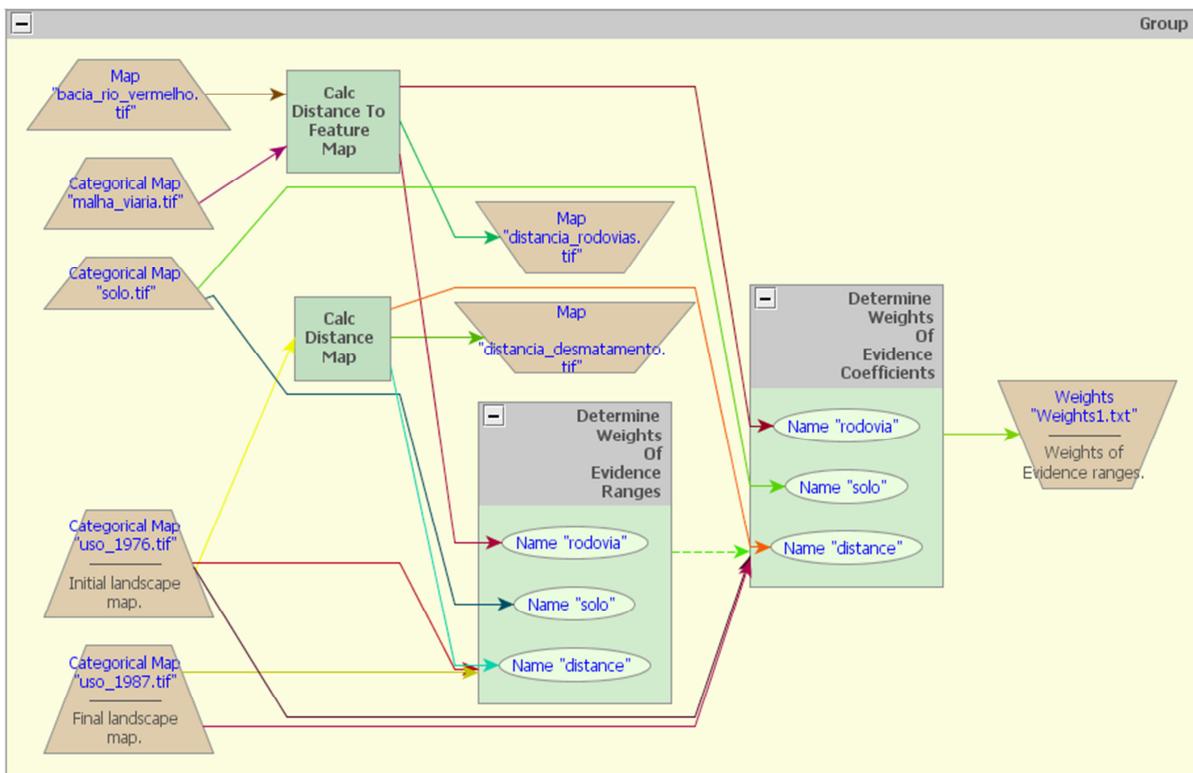


Figura 4.3 – Modelo implementado na plataforma DINAMICA, visando ao cálculo dos coeficientes de correlação entre a conversão da bacia hidrográfica do Rio Vermelho (variável dependente) e as variáveis físicas e de infraestrutura (independentes)

### 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Em geral, a dinâmica de ocupação do território goiano seguiu o padrão nacional, ou seja, do leste para o oeste, e do sul para o norte, com a instalação de núcleos de povoamento resultantes de processos históricos marcantes, como as bandeiras no século XVII e a descoberta de ouro, no século XVIII (SILVA, 1982; ESTEVAM, 1998). No século XIX, com o declínio da mineração, o território goiano passou a ser ocupado pela criação de gado e agricultura de subsistência – “o roçado”.

As regiões sul e sudoeste do estado foram preferencialmente ocupadas pelos núcleos familiares, que passaram a ocupar os “espaços vazios” deixados pela mineração desde o século XVII (MARTINS, 1997), haja vista apresentarem topografia plana, resultante de uma unidade geotectônica de cobertura sedimentar, solos com boa fertilidade natural, associados aos depósitos de basaltos da bacia do Paraná, e grandes áreas de Cerrado aberto (pastagem natural).

A partir das décadas de 1940 e 1950, a região Centro-Oeste, e o Estado de Goiás em particular, passam por profundas transformações, em função das políticas de interiorização do desenvolvimento e integração nacional (ANACLETO; MIZIARA, 2006). São vários os

fatores que contribuíram para que isso ocorresse, entre eles: a “Marcha para o Oeste” de Getúlio Vargas, que tinha como objetivo a integração regional, ampliando o mercado interno e incentivando a migração para a região; a criação da nova capital do país, Brasília, e a construção de grandes eixos rodoviários, como a BR- 153 (Belém-Brasília) e a BR-364 (Cuiabá - Porto Velho) (PEDROSO; SILVA, 2005).

Entretanto para (BEZERRA; CLEPS JÚNIOR, 2004) é a partir da década de 1930 que a região do Centro – Oeste experimenta um intenso desenvolvimento da produção da terra para produtos agrícolas, com a finalidade de atender o mercado consumidor da região sudeste. Desenvolvimento este que está atrelado ao desenvolvimento industrial do país, que se inicia na região sudeste nesse período. Segundo (PEDROSO et al., 2004) até a década de 1960, a falta de programas específicos e de incentivos governamentais bloqueava, de certa forma, o desenvolvimento agrícola da região Centro – Oeste do país.

As políticas governamentais para a Amazônia com o objetivo de tornar a região em centro produtor agrícola a partir do inicio da década de 1970 foram frustradas, fazendo com que os interesses governamentais se voltassem novamente para o Cerrado, melhor situada em relação aos crescentes mercados do Centro – Sul.

Portanto a partir da década de 70 do século XX o Cerrado experimenta um forte processo de conversão antrópica, que para (MIZIARA; FERREIRA, 2008; MULLER, 1990), este movimento de ocupação se deve às políticas de expansão agropecuária, intensificadas a partir desta data, quando uma infraestrutura deficitária e o distanciamento dos grandes centros consumidores passam a ser compensada com atrativos econômicos e tecnológicos tais como maquinaria, defensivos e fertilizantes químicos, variedades de sementes mais adaptadas ao Cerrado, somados aos baixos preços de terra dentre outros. Bem como da implantação de programas específicos de desenvolvimento agrícola para região, dentre eles podemos destacar: O POLOCENTRO (Programa de Desenvolvimento dos Cerrados) e o PRODECER (Programa de Cooperação Nipo-Brasileira para Desenvolvimento dos Cerrados).

Em específico o programa POLOCENTRO selecionou áreas para atuação e, posteriormente, forneceu crédito altamente subsidiado a todos os produtores que desejasse investir em exploração agropecuária empresarial (GOOBI, 2004).

A partir da década de 1970, o Cerrado experimenta um forte processo de conversão antrópica, que, para (MIZIARA; FERREIRA, 2008), resultante de políticas de expansão agropecuária, intensificadas naquela fase, quando a infraestrutura deficitária e o distanciamento dos grandes centros consumidores passam a ser compensados com atrativos econômicos e tecnológicos, tais como maquinários, defensivos e fertilizantes químicos, variedades de sementes mais adaptadas ao clima no Cerrado (sazonal, com período de seca

entre maio e setembro), somados aos baixos preços de terra praticados à época na região.

As frentes de ocupação na bacia do Rio Vermelho começam efetivamente nas cotas altimétricas de 400 a 500 metros, áreas da alta bacia (primeira frente de ocupação) associadas à Superfície de Aplainamento mais recente (SA3), com solo de boa fertilidade natural ainda em 1976 (Figura (4.1D e 4.2), em cotas entre 500 e 600 metros, associadas à Superfície de Aplainamento SA2, incluindo solos de baixa fertilidade natural (Cambissolos rasos) que se desenvolvem sobre os granito-gnaisses, já no ano de 1987 (segunda frente de ocupação) (Figura (4.1B, D, E e 4.2).

Mais recentemente, em 2002, uma incipiente taxa de conversão em cotas acima de 600 metros, associadas à Superfície de Aplainamento SA1 (terceira frente de ocupação), é registrada (mapeamento PROBIO/Cerrado, ano-base 2002), confirmado a consolidação dos processos de uso e ocupação que se apresentam até o período de 1987; enquanto na primeira fase de ocupação antrópica o centro de irradiação foi à cidade de Goiás, na segunda e terceira fases o centro irradiador foi formados pelos municípios de Itapirapuã e Jussara, ambos conectados pela malha viária – GO 070/BR 070, a qual corta o estado no sentido leste – oeste (Figura 4.1A).

De um modo geral, na bacia do Rio Vermelho, foram mapeadas as seguintes classes para solo, em ordem decrescente de representatividade de área: Cambissolo (31,60%), Latossolo (30,01%), Neossolo Litólico (12,56%), Gleissolo (4,26%), Argissolo (1,71%) e Neossolo Quartzarênico (1,68%) (Figura 4.1D). Desta forma, a ocupação da agricultura na bacia do Rio Vermelho avança, desde o início deste monitoramento, sobre áreas de alta vulnerabilidade (calha fluvial, terraço e planície de inundação) (Figura 4.1C).

Contudo, a ocupação e uso da terra para agricultura nestas áreas de alta vulnerabilidade se apresenta para um período não superior a de cinco anos consecutivos, onde, a perca da produtividade leva a uma mudança de uso para pastagem cultivada, ocupação e uso de menor exigência do solo, a pecuária extensiva, esta mudança acaba por promover um alívio sobre a dinâmica da evolução da paisagem (BERTRAND, 2004).

Esta intensa ocupação da bacia é também evidenciada pela malha viária, com uma densidade de estradas de 0,451 km/km<sup>2</sup> para o tempo T1 da análise (ano de 1976), saltando para 0,920 km/km<sup>2</sup> para o tempo fim T2 (ano de 1987) (Figura 4.4(C e D); tal fato demonstra um crescimento que se dá a partir de quatro eixos da BR 070 e de algumas GOs (Figura 4.1A): BR 070, que liga todo sudeste ao noroeste da bacia, conectando as cidades de Goiás – Itapirapuã – Jussara, da GO 324, que interliga toda parte norte ao sul, conectando as cidades Córrego do Ouro - Jussara – Britânia, sendo estes dois eixos os mais antigos e mais importantes do ponto de vista de influência nas frentes de ocupação; ressalta-se a GO 324, a

partir de Jussara, que ainda continua não pavimentada, a GO 173, que a partir da GO 070 conecta as cidades de Jussara – Santa Fé – Britânia – Aruanã, a GO 070, ligando as cidades de Itapirapuã – Matrinchã, e, por fim, a GO 164, que conecta as cidades de Goiás – Faina. Esse é um dos fatores que explicam o salto de 30% de áreas convertidas no tempo T1 para 65% em T2, conforme destacam os mapas na (Figura 4.4(A e B)).

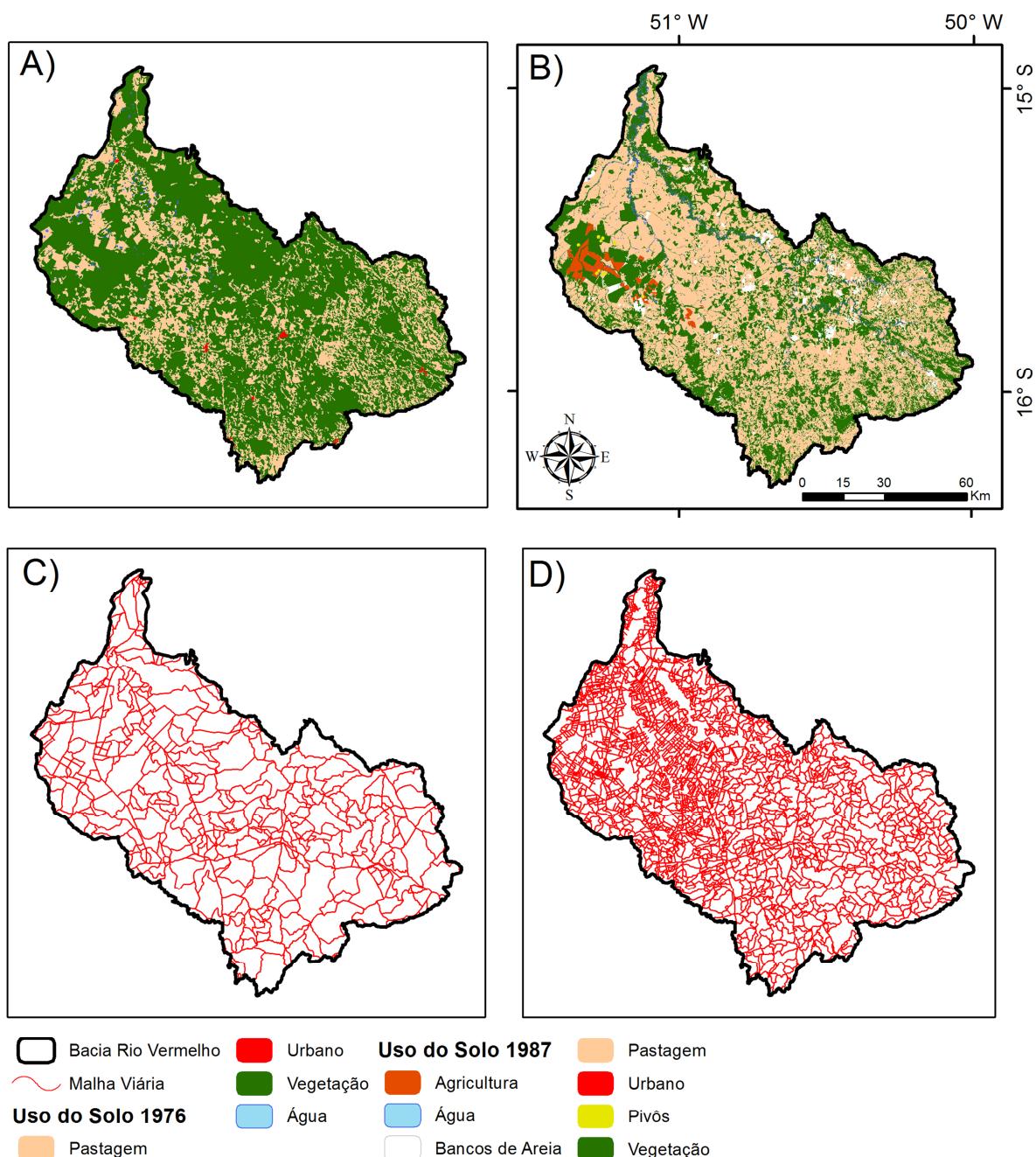


Figura 4.4 – Evolução da malha viária na Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho, entre 1976 e 1987, comparando com os estágios de ocupação T1 e T2

Já do ponto de vista do uso da terra na bacia do Rio Vermelho, há um predomínio

da pecuária, conforme demonstra a dinâmica entre 1970 a 1985 (Figura 4.5), com constatação em campo de três padrões distintos de pastagens: (a) um mosaico que associa pastagem e remanescentes para alta bacia, (b) uma pastagem com padrão geométrico bem definido evidenciando um uso com maior padrão tecnológico para a baixa bacia, e (c) uma zona de transição mesclando os dois padrões na média bacia. Desta forma, a bacia apresenta mais de 65% da cobertura vegetal convertida em áreas de pastagens (Figura 4.4 A e B).

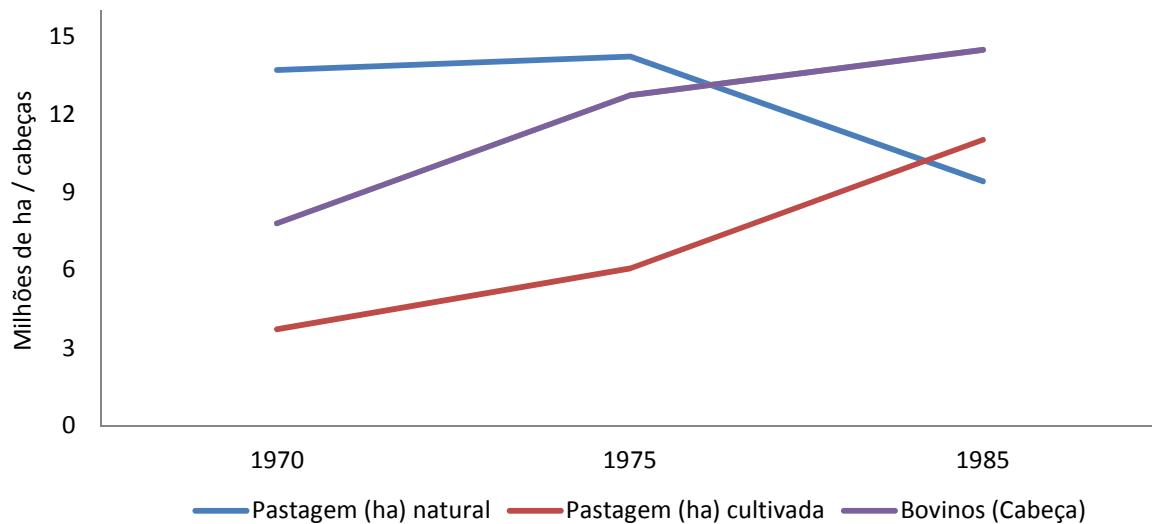


Figura 4.5 – Relação pastagem x pecuária na Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho, em três momentos: 1970, 1975 e 1985 (IBGE, 2006)

Com o processo de ocupação consolidado a partir de 1987, com mais de 60% da bacia convertida em atividades antrópicas, foram identificados 10 níveis de uso da terra:

- Nível I - unidades de conservação de categoria parque (Parque Estadual Serra Dourada);
- Nível II - unidades de conservação de categorias APA (Área de Proteção Ambiental – Serra Dourada) e AIE (Área de Interesse Ecológico – Água de São João) para criação de APA;
- Nível III - atividade pecuária com pastagem natural;
- Nível IV - atividade de pecuária com pastagem cultivada e uso dos sistemas fluviais para recreação;
- Nível V - agricultura praticada nos moldes de “roçado” e tração animal;
- Nível VI - agricultura anual mecanizada;
- Nível VII - agricultura e pastagem irrigada (pivô) com uso intensivo;

- Nível VIII - mineração conhecida como movimento de bandeiras;
- Nível IX - mineração moderna;
- Nível X - pastagem degradada.

Os mapas de uso apresentam preponderantemente a classe geral de pastagem (pastagem natural e cultivada). Em imagens de satélite, e mesmo em campo, percebe-se uma contaminação da paisagem natural por variedades de gramíneas cultivadas.

É importante frisar que, principalmente na alta e média bacia, em função da variação do relevo (mosaico entre vales planos e interflúvios movimentados) e da fertilidade do solo (alta e baixa), a paisagem é composta por um mosaico de remanescentes de Cerrado e pastagens cultivadas, que se complementa na capacidade de suporte bovino, tendo o remanescente papel fundamental na manutenção do rebanho no período de seca, que vai de junho a setembro. Corrobora com esta tese os dados do (IBGE, 2006), os quais colocam o município de Novo Brasil (alta bacia) com 2,410 a 3,609 cabeça/hectare/ano, contra áreas com pastagens continua e com manejo tradicional, como acontece no município de Britânia, com 0,936 a 1,289 cabeça/hectare/ano.

Estabelecendo uma comparação em nível de estado, Goiás apresenta um rebanho bovino de 7.792.839 para o ano de 1970, 12.728.294 para 1975 e 14.476.565 para 1985 (IBGE, 2006) (Figura 4.5). Isto representa uma taxa de crescimento no número de bovinos de 12,6% ano, 1,37%/ano, respectivamente, para os períodos 1970/1975 e 1975/1985. Portanto, existe uma coerência entre a estabilização de crescimento das áreas de pastagem cultivada com o aumento no tamanho do rebanho bovino a partir do ano de 1985, uma vez que o próprio (IBGE, 2006) apresenta para o período de 1985/2006 uma taxa de crescimento das pastagens em 0,09%/ano (Figura 4.5).

Conforme os mapas de cobertura e uso da terra obtida nesta pesquisa, para o ano de 1976, a vegetação remanescente era predominante até este ano, cobrindo uma área de aproximadamente 7.531 Km<sup>2</sup> (69,6% da bacia), enquanto a pastagem (cultivada e natural) ocupava 3.261 Km<sup>2</sup> (30,1%), como ilustra a (Figura 4.1C).

Ainda com base nas imagens Landsat – MSS (1976) constata-se que a primeira frente de ocupação na baixa bacia (em cotas inferiores a 400 metros) deu-se preferencialmente ao longo da rodovia GO 324, que liga os municípios goianos de Jussara e Britânia; a partir desta GO, apresentam-se vias secundárias com padrões geométricos retangulares (Figuras 4.1 (A, C).

Já a segunda frente de ocupação, com ápice na década de 1980, apresenta um crescimento na taxa de ocupação e uso da terra de 27% (diferença no período entre 1976 e 1987), ou de 2,45%/ano, passando a ocupar as cotas entre 400 e 600 metros (Figura 4.1E). Na terceira frente de ocupação, aqui mencionada como referência à consolidação do processo de ocupação no período entre 1987 e 2002, apresenta uma taxa de crescimento de apenas 6%, ou de 0,4%/ano; na última fase analisada, entre 2002 e 2008, esta taxa de ocupação foi de 2%, ou 0,3%/ano, com avanço sobre as cotas acima de 600 metros.

Especificamente quanto à influência da fertilidade do solo, da hidrologia, das áreas já convertidas e do eixo viário principal neste modelo de ocupação da bacia do Rio Vermelho, verifica-se que a conversão de novas áreas de Cerrado para o uso da agricultura e da pecuária (esta última efetivamente instalada na primeira frente de ocupação, após o declínio da mineração), ocorre com as seguintes etapas: (A) retirada da cobertura vegetal, (B) uso para agricultura, por um período não superior a cinco anos, em solos de boa fertilidade natural e um sistema hidrológico dendrítico (isto é, com alta densidade de canais), (C) empobrecimento do solo, (D) conversão para pastagem, e (E) reprodução do processo, com o avanço da agricultura sobre novas áreas de Cerrado, com solo de melhor fertilidade natural ("manchas"), neste caso Argissolos, Latossolos, Cambissolos mais espessos. No final, surge uma paisagem interdigitada de remanescentes de Cerrado com pastagem cultivada, permeando as cotas entre 400 e 500 metros.

A segunda e terceira frente seguem os mesmos padrões, só que agora avançando sobre áreas mais vulneráveis (solos frágeis e topografias movimentadas), avançando sobre cotas de 500 a 600 metros e acima de 600 metros, (figura 4.6).

Como já indicado, estas frentes de ocupação e uso estão associadas a um crescente sistema viário, com as seguintes densidades de estradas: 0,415 km/km<sup>2</sup>, 0,920 km/km<sup>2</sup> (Figura 4.4(C e D) respectivamente, 1,163 km/km<sup>2</sup> e 1,143 km/km<sup>2</sup>, respectivamente, para os anos de 2002 e 2008. Isso equivale a um incremento na infraestrutura acima de 100% no período entre 1976 e 1987, registrando em 2002 e 2008 um pequeno crescimento, tendo o processo já se consolidado em 1987.

Este modelo de ocupação e uso para bacia do Rio Vermelho também pode ser visualizado conforme o fluxograma da (Figura 4.7), onde considera-se uma célula inicial de ocupação anterior a 1970 (CM1 = Célula comandada pela mineração), a qual se reproduz em núcleos ao seu redor, e ao redor destes núcleos em pequenas frentes de uso para agricultura e pecuária, tendo como variável controladora principal neste momento a geologia. A partir desta célula “mãe”, através dos eixos viários que conectam a outras células (CA/P1 e CA/P2 =

Célula comandada pela agropecuária 1 e 2); frente à variável controladora principal, as demais irão se nuclear no entorno de novas células, e assim direcionar as novas frentes de ocupação, cujo processo avança até 1987, período de consolidação do uso nesta bacia.

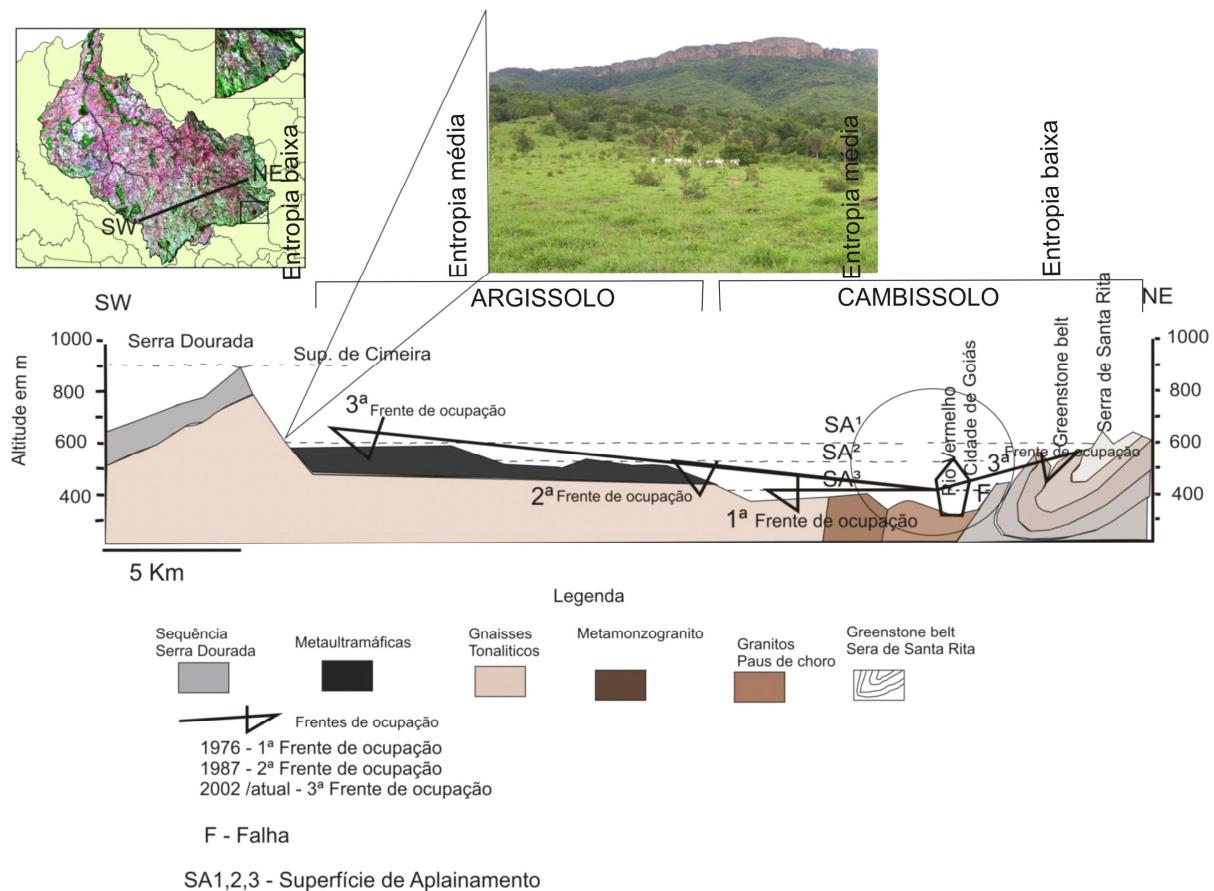


Figura 4.6 – Frentes de ocupação na Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho

Modelo de uso e ocupação do Bioma Cerrado: Bacia do Rio Vermelho

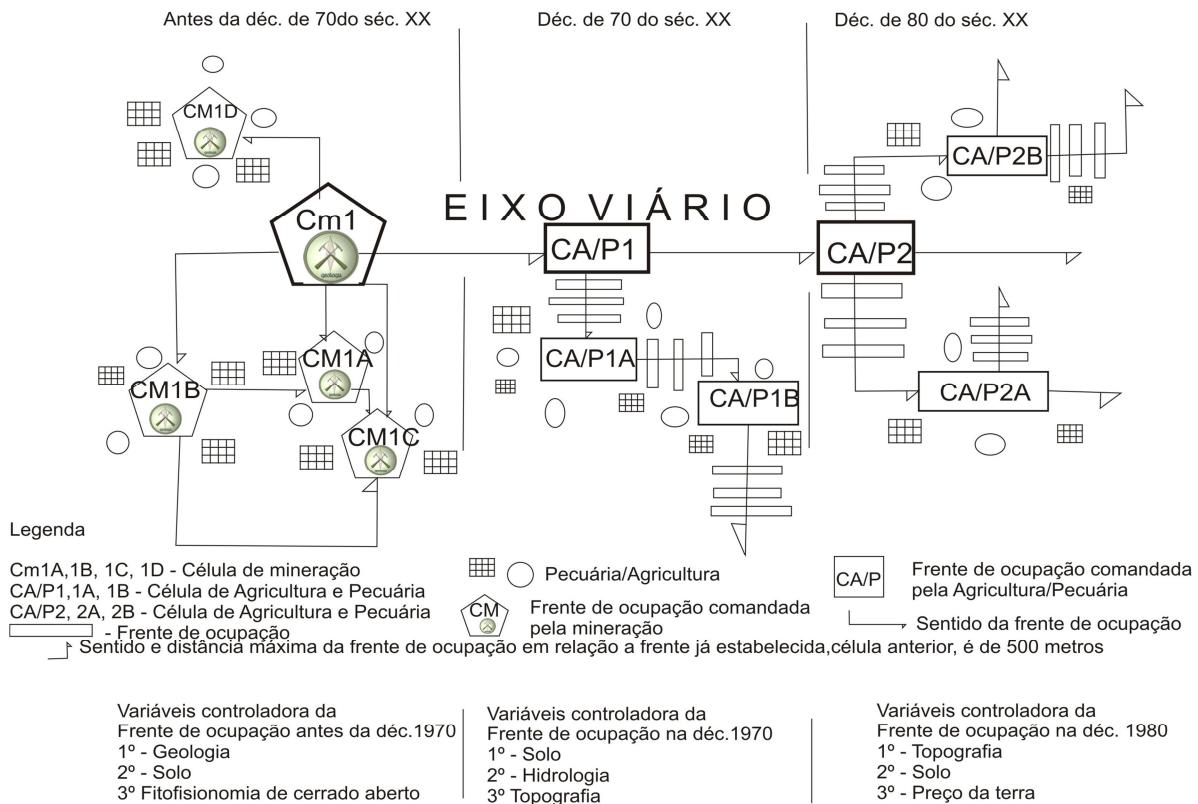


Figura 4.7 – Modelo de ocupação e uso para o bioma Cerrado/Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho

Por sua vez, as (Figuras 4.8, 4.9 e 4.10) mostram os diferentes mosaicos de paisagem resultantes do processo de consolidação ocupação da bacia hidrográfica do Rio Vermelho.

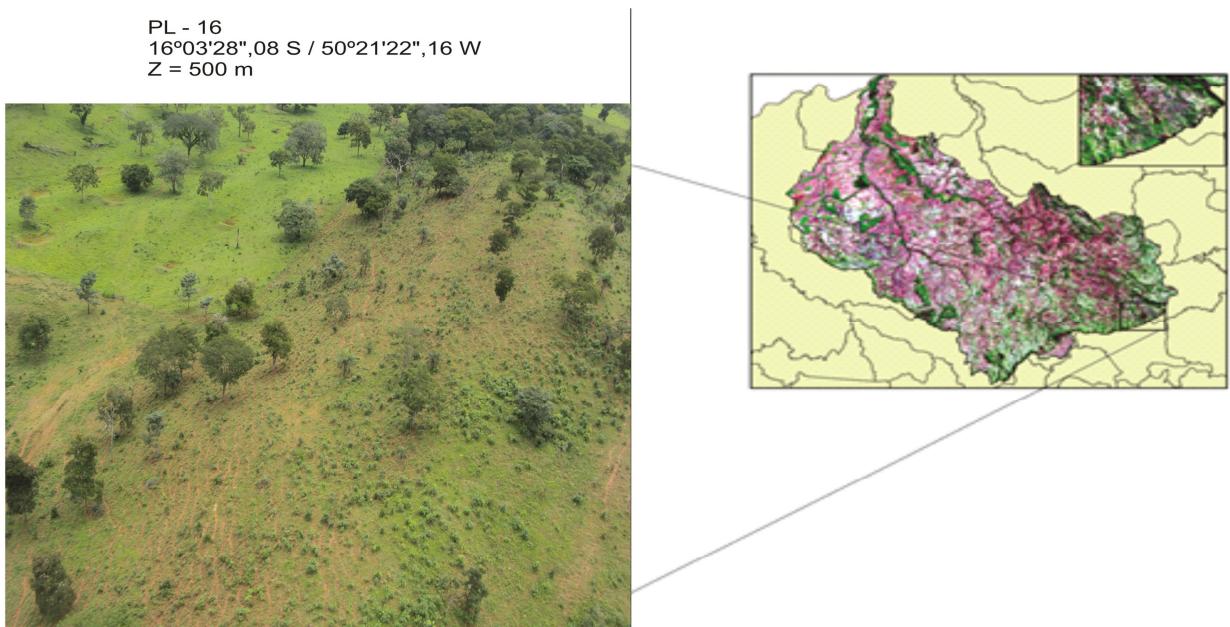


Figura 4.8 – Região sudeste da bacia hidrográfica do Rio Vermelho, com destaque para o uso de

pecuária em pastagens integradas (pastagem cultivada, natural e remanescente de Cerrado) sobre Cambissolos, durante a primeira frente de ocupação

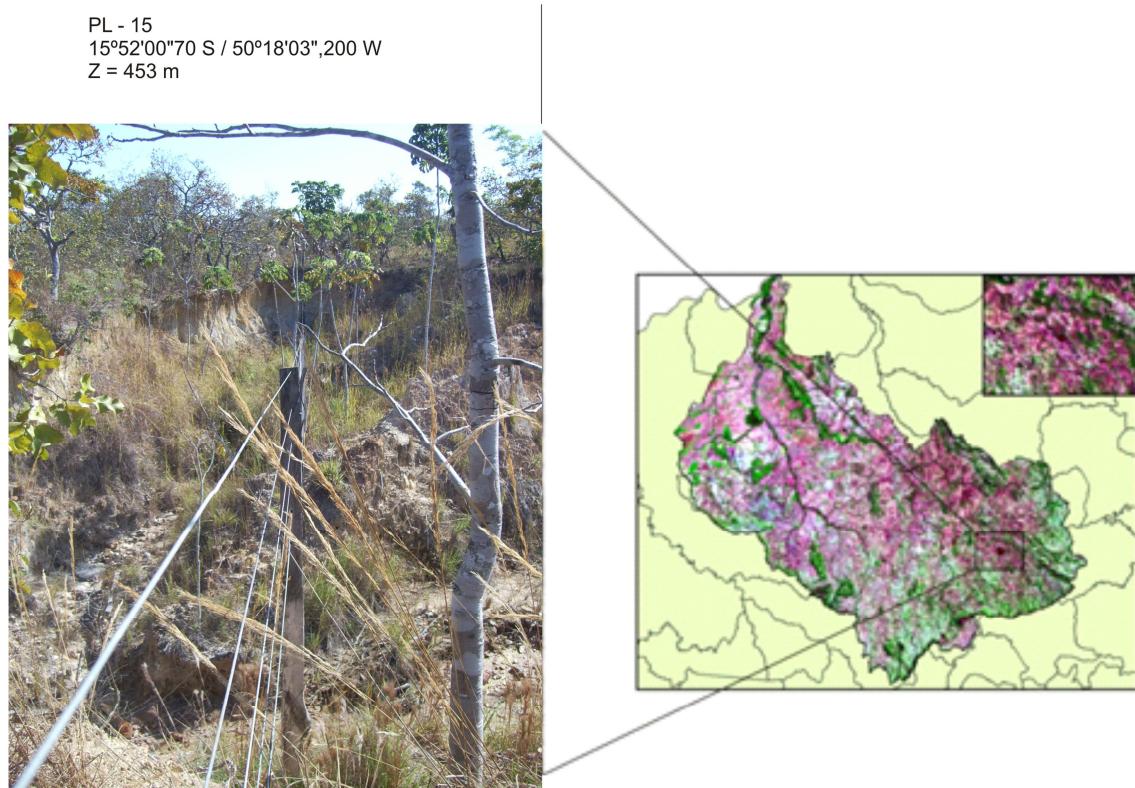


Figura 4.9 – Superfície de Aplainamento SA2 (hipsometria média), com predomínio de pastagens nativas e remanescentes de Cerrado sobre Cambissolos, durante a primeira frente de ocupação



Figura 4.10 – Superfície de Aplainamento SA2, região noroeste da bacia hidrográfica do Rio Vermelho, com o predomínio de pastagem cultivada sobre Latossolos, durante a segunda e terceira frente de ocupação

Com base no processamento realizado na plataforma DINAMICA, envolvendo as variáveis orientadoras ao processo de ocupação com os momentos de ocupação T1 (1976) e T2 (1987), obteve-se novas evidências sobre a influência (peso) de cada uma das variáveis na área de estudo. Estas variáveis foram divididas em “estáticas” (solo, declividade, relevo) e dinâmicas (malha viária e distância de áreas convertidas).

Inicialmente, quanto à fertilidade natural do solo, os solos da classe dos Latossolos e os Argissolos, espessos com médio-boa fertilidade natural, apresentaram uma elevada correlação positiva com o processo de ocupação/desmatamento da bacia, com coeficiente de 0,45 para os Argissolos e 0,34 para os Latossolos. Isto explica a ocupação destas áreas já no inicio da primeira frente de ocupação, principalmente nos Argissolos, que ocorrem em relevo movimentado e cotas elevadas, entre 500 e 600 metros.

Entretanto, os Argissolos, apesar de sua representatividade em termos de área na bacia do Rio Vermelho ser pequena (1,71%), ficam claro que esta classe de solo no bioma Cerrado tem forte influência na determinação das frentes de uso e ocupação, conforme tabela 4.1.

Tabela 4.1. Valores de área e coeficiente de correlação das classes de solo com a ocupação na bacia hidrográfica do Rio Vermelho.

Solo	Área%	Área Km <sup>2</sup>	Coeficiente
Gleissolo	4,21%	456,6013	-1,41
Neossolo Litólico	12,55%	1359,6735	-0,71
Cambissolo	39,97%	4327,8248	0,07
Argissolo	1,71%	185,6342	0,45
Neossolo Quartzarênico	12,28%	1329,6589	0,18
Latossolo	29,25%	3168,0066	0,34

Para os Cambissolos, os resultados não mostram nenhuma correlação significativa (valores de 0,07), indicando que estas áreas, de certa forma, estariam mais atreladas à preservação da cobertura vegetal do bioma Cerrado. No entanto, no caso desta classe (Cambissolo) aparecer com uma área bastante representativa na bacia (39,97% ou 4.327 km<sup>2</sup>), a mesma apresenta uma ocupação de mais de 50%, frente a esta falta de correlação. Por isso, foi realizado um cruzamento desta variável com o mapa de declividade (para as áreas preservadas e convertidas), buscando entender se as áreas de Cambissolo mais ocupadas estavam concentradas em porções da bacia com topografia menos declivosa. Tais resultados são discutidos mais a frente.

Sobre os Neossolos Quartzarênicos, estes apresentaram uma baixa taxa de conversão na bacia, em face de sua baixa fertilidade natural (isto é, solos lixiviados devido à sua alta permeabilidade), numa região com regime climático com precipitações concentradas em alguns meses do ano, e com uma composição mineralógica com altos teores em mineral quartzo.

Entretanto, esta classe apresentou pela análise no DINAMICA (Tabela 4.1) uma correlação positiva, um coeficiente de 0,18, levando a crer que uma topografia mais suave e o aumento do padrão tecnológico através do emprego de máquinas, insumos químicos e sementes adaptadas, sobrepõem a variável solo no processo de mudança de ocupação e uso, o que fica demonstrado para a bacia do Rio Vermelho para o final do período 1976 – 1987, com a taxa de ocupação saltando de 30% para 60%, em parte pela prática da pecuária, antes em gramínea natural, para a gramínea cultivada.

Faz-se necessário esclarecer que, esta classe de solo está associada à geologia dos sedimentos arenosos da Formação Araguaia, os quais possuem o domínio na baixa bacia, região de grandes propriedades rurais; portanto esta conversão não poderia ser explicada por falta de área, o que normalmente ocorre nas pequenas propriedades, onde a agricultura familiar é praticamente obrigada a avançar sobre toda área disponível, independente da capacidade de suporte ou não para a pecuária ou agricultura.

Para os Gleissolos e os Neossolos Litólicos, os resultados apresentam uma correlação negativa com os coeficientes de -1,41 para os Gleissolos e -0,71 para os Neossolos Litólicos; tal informação reforça, inclusive com base no mapa de uso da terra de 1976 (Figura 1C), a tese de que os remanescentes de Cerrado (não só nesta bacia) estejam fortemente associados a estes domínios pedológicos, uma vez que estão ora associados a um relevo altamente movimentado e rocha exposta (Neossolos Litólicos), ora em áreas encharcadas (Gleissolos). Entretanto, ressalta-se que, apesar da não conversão do Cerrado, estas áreas são ainda utilizadas pela pecuária no período de forte estiagem, entre maio e setembro, podendo chegar a total falta de chuvas nos meses de julho, agosto e setembro.

Por outro lado, quando se discute o peso de influência da variável antrópica “áreas já convertidas” no estabelecimento de novas frentes de ocupação, considera-se a distância destas áreas de agricultura e pecuária, e sua respectiva influência para a expansão sobre novas áreas de Cerrado. Sobre estes intervalos de distâncias, e ainda com base na modelagem realizada no DINAMICA, entre 0 - 513 metros percebe-se uma correlação positiva elevada com coeficiente de 0,23 para a uma nova ocupação, enquanto que acima deste intervalo os coeficientes são baixos ou negativos (ou seja, 0,05 para o intervalo 513 – 725 metros, -0,11 para 725 – 1449 metros, -0,28 para 1449 – 1847 metros, -0,51 para 1847 -2612 metros).

Ao fazermos uma análise conjunta da malha viária e da distância de áreas já convertidas (variáveis dinâmicas e influentes na conversão das áreas de remanescentes), os dados obtidos nesta análise (Tabela 4.2) nos permitem afirmar que há uma ação combinada entre a malha viária com a ocupação já estabelecida. Neste cenário, a correlação dos desmatamentos com as áreas circundantes às rodovias (asfaltadas ou não) seria de 26% (influência imediata), chegando até 32%, se considerarmos uma distância aproximada de 1 km, atraindo a instalação de uma infraestrutura básica de produção, e vice-versa (Figuras 4.1 (C, E e Tabela 4.2)).

Tabela 4.2 - Valores de correlação entre as classes de distâncias de frentes de conversão e de rodovias com a ocupação na bacia hidrográfica do Rio Vermelho.

Distancia/Frente de conversão (metros)		Distância/Malha viária (metros)	
Classe	Coeficiente	Classe	Coeficiente
0 -513	0.230004	0 - 1	0.262046
513 - 725	0.0599658	1 - 1146	0.0656071
725 - 1449	-0.111148	1146 - 1537	-0.200754
1449 - 1847	-0.281605	1537 - 2112	-0.334721
1847 - 2612	-0.515927	2112 - 7333	-0.425499

Áreas localizadas após os dois primeiros intervalos de distâncias de rodovia, i.e., distâncias acima de 725 metros mostraram uma correlação negativa, conforme os demais valores de coeficientes obtidos: -0,2 para intervalo 1146 – 1537 metros, -0,33 para 1537 -2112 metros, e -0,42 para 2112 – 7333 metros (Tabela 4.2). Porém, estes valores de coeficientes negativo tem sua importância, ao indicar que outras variáveis “estáticas”, como a geologia, solo e relevo estão controlando a ocupação a partir desta fase. Neste sentido, os Cambissolos, por exemplo, aos quais se espera uma baixa taxa de conversão (com exceção dos Cambissolos com 2 metros de espessura), na bacia do Rio Vermelho esta classe de solo aparece com ~ 62% de áreas convertidas, contra apenas 30% de remanescentes em manchas de Cambissolos. Atrelado a este impedimento natural, soma-se o domínio da topografia mais movimentada, que se dá na seguinte forma neste estudo: classe de declividade de 3 a 8% com ~ 35% de uso e de 8 a 20% com ~12% de uso, contra ~18% e ~9%, respectivamente, de remanescentes. Ou seja, 47% de uso em Cambissolo têm ocorrido sobre um relevo mais movimentado (Figura 4.1 (B, D, 4.7, 4.8 e Tabela 4.3)).

Desta forma, julga-se necessária uma cautela quando da análise destas variáveis controladoras do uso e ocupação (em modelagens em ambientes computacionais como o DINAMICA), onde uma análise mais integrada, atrelando outras variáveis e base de dados de

campo, fornecem condições de interpretar este modelo de ocupação da bacia, de forma mais realista.

No caso da bacia hidrográfica do Rio Vermelho, acredita-se que a unidade geotectônica sustentada por rochas do cristalino – Granitos-Gnaisses favorece a um relevo movimentado, como solos Cambissolos de níveis pedregosos (com domínio de linhas de pedra e horizontes “B” carregados de caolim); seu uso, assim, pode estar atrelado à importância política e econômica, bem como à posição geográfica do município de Goiás, antiga capital do Estado (primeiro polo irradiador dos processos dinâmicos de ocupação e porta de entrada desta bacia) (Figura 4.11).

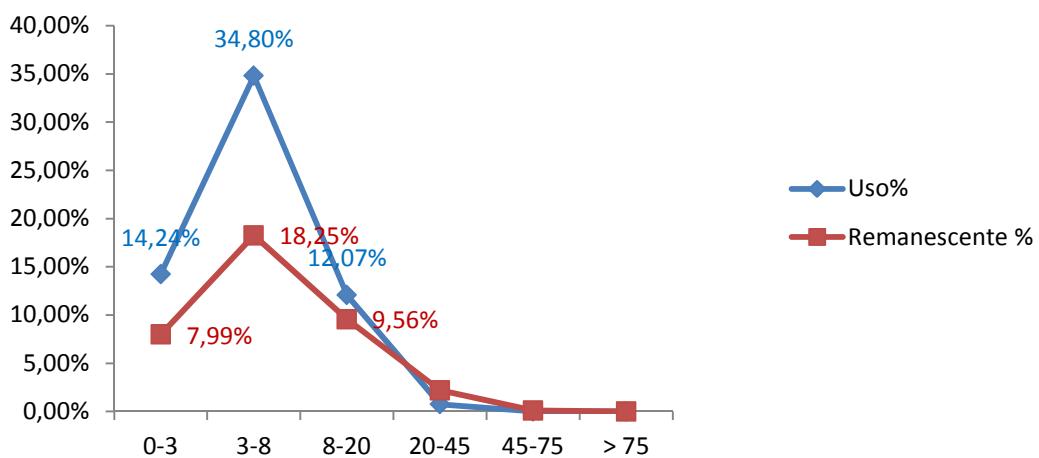


Figura 4.11 – Porcentagem dos solos Cambissolos versus Uso do solo versus Declividade

Tabela 4.3 - Distribuição das áreas de uso antrópico e remanescentes na bacia hidrográfica do Rio Vermelho, sobre solos do tipo Cambissolo.

Cambissolo						
Declividade (%)	Uso (%)	Área (Km <sup>2</sup> )	Remanescente (%)	Área (Km <sup>2</sup> )	Uso (%) total	Remanescente (%) total
0-3	23,0154	615,4202	20,9710	345,4254	14,24%	7,99%
3-8	56,2401	1503,8336	47,8821	788,6932	34,80%	18,25%
8-20	19,5144	521,8054	25,1034	413,4924	12,07%	9,56%
20-45	1,2142	32,4674	5,7552	94,7977	0,75%	2,19%
45-75	0,0158	0,4237	0,2796	4,6050	0,00	0,10%
> 75	0,0001	0,0028	0,0087	0,1433	0,00	0,00%
Total	100	2673,9531	100,0000	1647,1570	61,86	38,09%

Nossos resultados, ainda que preliminares, fornecem subsídios orientadores para formulação de políticas públicas para a gestão territorial e ambiental dos onze municípios que integram a bacia hidrográfica do Rio Vermelho, bem como apresenta uma metodologia para o entendimento da dinâmica de uso e ocupação da terra para o bioma Cerrado frente ao desafio de um desenvolvimento sustentável.

#### **4.4 CONSIDERAÇÕES**

Este estudo buscou avaliar a articulação entre variáveis naturais e antrópicas, isto é, entre a ocupação e uso do solo e um conjunto de variáveis que possivelmente expliquem o processo dinâmico de ocupação na bacia hidrográfica do Rio Vermelho. Para tanto, se utilizou do método de integração de variáveis orientadoras “estáticas” (solo/fertilidade, declividade, geologia, tectônica) e as variáveis dinâmicas (malha viária, uso do solo) dentro da plataforma DINAMICA-EGO, no intuito de identificar os pesos que cada uma destas variáveis tem no processo de determinação das frentes de ocupação.

Dentro desta lógica, foram estabelecidos dois momentos representativos do processo de ocupação da bacia hidrográfica do Rio Vermelho: o momento inicial T1 (1976) e o momento de consolidação T2 (1987). Nos dois momentos, fez-se um levantamento detalhado das variáveis naturais (estáticas) e antrópicas (dinâmicas), identificando e espacializando os tipos e níveis de ocupação e uso. A partir desta interação foi possível ponderar sobre a influência de cada uma destas variáveis quanto à orientação da ocupação e uso na bacia.

Este estudo também procedeu-se a uma análise integrada dos dados acerca da caracterização física do sistema natural, da dinâmica histórica de ocupação e uso, da consolidação e da sustentabilidade socioeconômica e ambiental, modelo este que poderá ser replicado para outras áreas do bioma Cerrado.

Em geral, foi possível identificar e espacializar os diferentes níveis de uso (dez níveis) e sua importância no processo de fixação e consolidação. Entende-se que o atual estágio de conversão da paisagem natural pode ter na sua capacidade de sustentabilidade ambiental significativas melhorias frente ao atual sistema produtivo, desde que se tenha um maior controle dos níveis de uso deste mosaico atual, entre áreas remanescentes e convertidas, com relação de 65,5% de áreas convertidas para 35% de remanescentes. Para tanto, é importante executar um reordenamento espacial quanto ao uso da terra.

Dados do IBGE (2006), bem como dados de campo, apontam para uma maior capacidade de suporte de bovinos para aquelas áreas que tem uso integrado entre remanescentes e áreas convertidas, de 2,4 a 3,6 cabeça/hectare/ano, contra 0,7 a 0,9 para pastagem convencional. Neste caso, fica evidente a necessidade de um melhor manejo da bacia, visando o aumento de produtividade com sustentabilidade socioambiental, sem, contudo, converter novas áreas de Cerrado.

Em geral, os diferentes tipos de uso frente ao processo histórico de ocupação do Cerrado na bacia do Rio Vermelho demonstram uma boa resposta do sistema natural. Ou seja,

a nova paisagem resultante mostra uma aceitável dinâmica de evolução natural, com alguns pontos de estrangulamentos quanto a processos erosivos, de assoreamento de canal fluvial e recorrência de cheias e pastagens degradadas, pontos facilmente corrigidos com um reordenamento e manejo de tipos de uso.

Esta modelagem dos níveis de uso e da paisagem natural, identificadas, mensuradas e especializadas nesta bacia, são de extrema importância na gestão das atividades produtivas, de forma a manter no bioma Cerrado um desenvolvimento econômico sustentável, com recursos naturais preservados para as gerações futuras.

#### **4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

**ANACLETO, T. C.; MIZIARA, F. *Expansão de fronteiras e ocupação do espaço no cerrado: o caso de Goiás*.** Geografia. Rio Claro-SP, v. 31, n. 3, p. 527-538, set./dez. 2006.

**BAYER, M. *Dinâmica do transporte, composição e estratigrafia dos sedimentos da planície aluvial do Rio Araguaia*.** p.104f. Goiânia: Programa Multidisciplinar de Doutorado em Ciências Ambientais (Tese de Doutorado), 2010.

**BAYER, M. *Diagnóstico dos processos de erosão/assoreamento da planície aluvial do Rio Araguaia, entre Registro do Araguaia(GO) E Cocalinho(MT)*.** P.126f. Goiânia: Instituto de Educação Sócio Ambiental – IE SA (Dissertação de Mestrado). 2002.

**BERTRAND, G. *Paysage et géographie physique globale*:** Pesquises méthodologique. Revue géographique des Pyrénées et sud-ouest, v. 39, fasc. 3, p. 249-272, 3 fig., 2 pol. Phot.h.t. 1968.

**BERTRAND, G. *Paisagem e geografia física global - Esboço metodológico*.** (Trad.: Olga Cruz). Trabalho publicado, originalmente, na “Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest”, Toulouse, v. 39 n. 3 (249-272), 1968, sob título: Paysage et geographie physique globale. Revista RA'E GA - O espaço geográfico em análise, n. 8 (141-152), 2004.

**BERTRAND, G. *Paisagem e geografia física global - Esboço metodológico*.** (Trad.: Olga Cruz). Trabalho publicado, originalmente, na “Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest”, Toulouse, v. 39 n. 3 (249-272), 1968, sob título: Paysage et geographie physique globale. Revista RA'E GA - O espaço geográfico em análise, n. 8 (141-152), 2004.

**BEZERRA, L. M. C.; CLEPS JÚNIOR, J. *O desenvolvimento agrícola da região Centro-Oeste e as transformações no espaço agrário do estado de Goiás. Caminhos da Geografia* – revista on line. p. 29-49, 2004. Disponível em:  
<[http://www.ig.uf.br/caminhos\\_de\\_geografia.html](http://www.ig.uf.br/caminhos_de_geografia.html)>.** Acesso em: 12 jan. 2012.

**CASSETI, Valter. *Ambiente e Apropriação do Relevo*.** Goiânia. Editora Contexto, 1991.

**CHRISTOFOLLETTI, Antônio. *Geomorfologia*.** 2º ed. São Paulo, Editora Edgard Blücher, 188p. 1979.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais.** 1<sup>a</sup> ed. São Paulo, Edgard Blucher, 1999

COSTA, M. H.; BOTTA, A.; CARDILLE, J. A. **Effects of large-scale changes in land cover on the discharge of the Tocantins River, Southeastern Amazonia.** Journal of Hydrology, v. 283, n. 12 (206-217), 2003.

CREPANI, E.; Medeiros, J. S.; Azevedo, L.G.; Hernandez Filho, P.; Florenzano, T.G.; Duarte, V. **Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico econômico [CD-ROM].** In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8., Salvador. Anais. São Paulo: Imagem Multimídia, 1996. Seção de Comunicações Técnico-Científicas. 1996.

CREPANI, Edson; DIAS, Ricardo Ribeiro. Secretaria do Planejamento e Meio Ambiente (Seplan). Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico (DZE). **Projeto de Gestão Ambiental Integrada da Região do Bico do Papagaio. Zoneamento Ecológico-Econômico.** Imperatriz. Vulnerabilidade de Paisagens à Perda de Solos da Folha SB.23V-C. Org. por Edson Crepani e Ricardo Ribeiro Dias. Palmas, Seplan/DZE, 2006. Versão preliminar.

ESTEVAM, Luis. **O tempo da transformação – estrutura e dinâmica da formação econômica de Goiás.** Goiânia: ed. do autor, 1998.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos: 2a ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

FERREIRA, M. E. **Modelagem da dinâmica de paisagem do cerrado.** Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Goiás. Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação. Programa Multidisciplinar de Doutorado em Ciências Ambientais, 2009.

Ferreira, Manuel E. ; Ferreira, Laerte G. ; Miziara, Fausto ; Soares-Filho, Britaldo S. **Modeling landscape dynamics in the central Brazilian savanna biome: future scenarios and perspectives for conservation.** Journal of Land Use Science, p. 1-19, 2012.

FORTES, P.T.F.O. **Metagenesia dos Depósitos Auríferos Mina III,Mina Nova e Mina Inglesa, Greenstone Belt de Crixás, Goiás.** Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 207 Pgs. 1995.

GOBBI, W.A.O. Modernização agrícola no cerrado mineiro: os programas governamentais da década de 1970. **Caminhos de Geografia** – revista on line. p. 130-149. Disponível em: <[http://www.ig.uf.br/caminhos\\_de\\_geografia.html](http://www.ig.uf.br/caminhos_de_geografia.html)>. Uberlândia, v.11, fev.2004. Acesso em: 12 jan. 2012

HARD, et al. **Geologia e geocronologia do complexo Uvá, bloco Arqueano de Goiás.** Revista Brasileira de Geociências, v 35, 2005.  
IBGE. Censo Agropecuário, 2006.

**IBGE Diagnóstico ambiental da bacia do Araguaia: trecho Barra do Garças (MT) – Luiz Alves (GO).** CDP/IBGE. Goiânia, 139 p. 1999.

LATRUBESSE, E. M.; CARVALHO, T.M. **Geomorfologia do Estado de Goiás e Tocantins.** Goiânia,. Secretaria de Indústria e Comércio. Superintendência de Geologia e Mineração. Estado de Goiás. 128 p. 2006.

LATRUBESSE, E. M.; AMSLER, M. L.; MORAIS, R. P.; AQUINO, S. The geomorphologic response of a large pristine alluvial river to tremendous deforestation in the South American tropics: The case of the Araguaia River. *Geomorphology*, v. 113, n. 4, p. 239-252, 2009.

LESSA S. M. & ANDRADE R.S. *Projeto Jussara*. DNPM/CPRM, 86p. 1971.

LIMA, J. E. F. W.; SILVA, E. M. **Análise da situação dos recursos hídricos do Cerrado com base na importância econômica e socioambiental de suas águas**. In: anais do IX Simpósio Nacional do Cerrado e II Simpósio Internacional de Savanas Tropicais. Brasília: Embrapa-CPAC, p. 1-6. CD-ROM, On-line, 2008.

MARTINS, J. de S. **A reprodução do capital na frente pioneira e o renascimento da escravidão**. In: \_\_\_\_\_. *Fronteira: a degradação do outro nos confins do humano*. São Paulo: Hucitec, 1997.

MIZIARA, F.; FERREIRA, N. C. **Expansão da fronteira agrícola e evolução da ocupação e uso do espaço no Estado de Goiás: subsídios à política ambiental**. In: FERREIRA, L. G. (Org.). *A encruzilhada socioambiental – biodiversidade, economia e sustentabilidade no cerrado* (pp. 107-125). Goiânia: UFG, 223p. 2008.

MONTALVÃO, R.M.G. **Evolução Geotectônica dos Terrenos Granito- Greenstone de Crixás, Guarinos e Pilar-Hidrolina**. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 372 pg. 1985.

Morais, R. P. **A Planície Aluvial do Médio Araguaia: processos geomorfológicos e suas Implicações Ambientais**. Tese de doutorado, CIAMB - Universidade Federal de Goiás, 145p.2006.

MULLER, C.C. Políticas governamentais e expansão recente da agropecuária no Centro-Oeste. In: \_\_\_\_\_. **Planejamento e políticas Públicas**. Brasília: IPEA, n.3, p.45-74. 1990.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; DA FONSECA, G. A. B.; KENT, J. **Biodiversity hotspots for conservation priorities**. Nature, v. 403 (853-858), 2000.

PEDROSO, I. L. P. B; SILVA, A. R. P. **O papel das Políticas Públicas no Desenvolvimento Agroindustrial de Rio Verde –GO**. Caminhos de Geografia 3(15)20-27, Jun/2005.

PEDROSO, I. L. P. B.; GOBBI, W. A. O.; CLEPS JÚNIOR, J.; PESSOA, V. L. S. **Modernização e Agronegócio: as transformações socioeconômicas recentes em Rio Verde (GO)**, In: Anais do 2º Encontro dos Povos do Cerrado, Pirapora (MG), 2004. Em CD Rom.

RATTER. J. A.; RIBEIRO, J. F.; BRIDGEWATER, S. **The Brazilian Cerrado Vegetation and Threats to its Biodiversity**. Annals of Botany, v. 80 (223-230), 1997.

RESENDE,M.G. **Stratigraphy of the Goiás and Faina Greenstone belts, Central Brasil: A New Proposal**. Revista Brasileira de Geociências, 28(I):77-94, março de 1998.

RODRIGUES, H. O.; SOARES-FILHO, B. S.; COSTA, W. L. S. DINAMICA-EGO: **Uma plataforma para modelagem de sistemas ambientais**. In: Simpósio Brasileiro de

Sensoriamento Remoto (SBSR), 13. Florianópolis. Anais... São José dos Campos: INPE. Artigos, p. 3089-3096. CD-ROM, On-line, 2007.

**SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO J. L.; FERREIRA JÚNIOR, L. G. Mapeamento semidetalhado (escala de 1:250.000) da cobertura vegetal antrópica do bioma Cerrado.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 43, n. 1 (153-156), 2008.

**SANO, E. E.; DAMBRÓS, L. A.; OLIVEIRA, G. C.; BRITES, R. S. Padrões de cobertura de solos do Estado de Goiás.** In: FERREIRA JÚNIOR, Laerte Guimarães Ferreira. (org). A encruzilhada socioambiental. Goiânia: Ed. UFG, 2008.

**SANO, E. E.; DAMBRÓS, L. A.; OLIVEIRA, G. C.; BRITES, R. S. Padrões de cobertura de solos do Estado de Goiás.** In: FERREIRA JÚNIOR, Laerte Guimarães Ferreira. (org). A encruzilhada socioambiental. Goiânia: Ed. UFG, 2008.

**SILVA, A. C. S. Mato Grosso permanece grande e forte:** a economia mato-grossense após a divisão. Goiânia: Única, 1982.

**SOARES-FILHO, B. S.; CERQUEIRA, G. C.; PENNACHIN, C. L. DINAMICA - Astochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier.** Ecological Modelling, v. 154 (217-235), 2002.

**TEIXEIRA, A.S. Geologia da região de Goiás-Faina:** Simpósio de Geologia Centro-Oeste, Anais..., Goiânia, p. 344-360. 1981.

**TOMAZZOLI, E.R.** Geologia, Petrologia, Deformação e Potencial Aurífero do Greenstone Belt of the Goiás (GO). Brasil ia. 206 p. (Dissertação de Mestrado, IG/UnB). 1985.

**TRICART, J.; KILIAN, J.** La Eco-Geografía y la ordenacion del medio natural. Barcelona: Editorial Anagrama, 1982.

**VALENTE, C. R,** **Geotectonic, geologic evolution and regional geomorphology of the Araguaia river basin, Central Brazil.** Teses de Doutorado. CIAMB-UFG.. 204 pp. 2007.

**VIEIRA, P. A, Análise da vulnerabilidade natural da paisagem em relação aos diferentes níveis de ocupação da bacia hidrográfica do rio vermelho, Estado de Goiás.** Submetido a RBG, 2012.

**VIEIRA, P. A, Caracterização das Unidades Geomorfológicas Geoambientais da Planície do Bananal.** Dissertação de Mestrado. IESA – UFG.. 148 pp. 2003.

## 5 CONSIDERAÇÕES GERAIS

A vulnerabilidade natural da bacia do Rio Vermelho foi determinada através da análise integrada entre classes de entropia de relevo, variáveis naturais (rocha, padrão tectônico, solo, relevo e sistema hidrológico) e variáveis antrópicas (uso da terra). Em geral, e apesar da escala pequena de trabalho, de 1:100.000, este método se mostrou capaz de mapear as diferentes respostas do sistema natural às formas de uso principais encontradas na bacia. Especificamente, foi possível estabelecer as seguintes correlações: a) classe de entropia baixa constitui um bom indicador de áreas com alta vulnerabilidade; b) as classes de altas vulnerabilidades estão associadas à uma geologia de rochas arenosas, aos cambissolos, a uma planície aluvial ativa associada à paleocanais e um sistema lacustre; c) áreas com classe de entropia baixa foram um impedimento quanto aos processos de instalação das frentes de uso e ocupação até a década de 1970; d) os cambissolos, apesar de sua vulnerabilidade natural, foram fortemente ocupados na alta bacia.

Embora a alta bacia, onde predomina as classes de baixa entropia (i.e. maior energia potencial disponível para produzir trabalho geomorfológico), seja mais suscetível a atuação de processos erosivos e, portanto, mais vulnerável à ocupação, quando associada a rochas cristalinas, apresenta uma boa resposta do sistema ambiental natural ao uso. Por outro lado, o padrão tectônico impresso nestas litologias e um relevo movimentado, associado ao uso para pecuária, resulta em maior vulnerabilidade natural, a exemplo do que se observa na Cidade de Goiás, antiga capital do Estado. Em outro extremo, na foz do Rio Vermelho no Rio Araguaia, áreas altamente aplainada pela dinâmica geomorfológica resultam em baixa disponibilidade de energia potencial para produzir trabalho erosivo. Entretanto, nesta região, o sistema fluvial desenvolve uma ampla e ativa planície fluvial, o que eventualmente exacerba a sensibilidade ambiental quanto ao uso.

Conforme mapeamento realizado no âmbito deste estudo, a área total convertida da bacia chega à 65%, cujo passivo ambiental acumulado inclui extensas áreas de pastagens degradadas, ocupação das APPs (Áreas de Proteção Permanente), focos de erosão, além de uma grande quantidade de estoque de sedimentos arenosos na calha, paleocanais, lagos e nas planícies fluviais. Quanto à dinâmica da ocupação, três frentes principais foram identificadas na bacia hidrográfica do Rio Vermelho: inicialmente, na alta bacia, em relevo movimentado (áreas de alta vulnerabilidade natural), sob a influência política do sítio urbano da antiga capital do Estado de Goiás, a Cidade de Goiás. A segunda frente tem seu ápice na década de 1980, quando a taxa de conversão, para o período de 1976/1987, chega a 27%, quando áreas altamente vulneráveis, com cotas entre 400 e 600 metros e solos mais pobres, passam a ser

ocupadas. A terceira frente de ocupação, períodos entre 1987 e 2002 e entre 2002 e 2008, vem fazer um referendo à consolidação do processo de ocupação, com taxas de desmatamento de 0,4% e 0,3% ao ano, respectivamente, e ocupação de áreas com cotas acima de 600 metros.

De um modo geral, e conforme demonstrado por métodos modelagem dinâmica da paisagem, os processos de ocupação e uso se consolidam em direção da conversão do remanescente com uso para pecuária (áreas de pastagem natural e áreas de refúgio), sofrendo influência até uma distância de ~1000 metros das áreas já convertidas, bem como priorizando solos mais profundos e de boa fertilidade natural. Por sua vez, as variáveis naturais sujeitam-se à malha viária principal, a qual comanda o ritmo e a direção da conversão para o período.

A facilidade e acurácia dos métodos avaliados neste estudo sugerem a possibilidade de se determinar, para as demais áreas do bioma Cerrado, as respostas da fragilidade das paisagens às diferentes formas e dinâmicas de uso das terras, com vistas à compatibilizar a ocupação e produtividade às capacidades de suporte do sistema natural.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CENSO AGROPECUÁRIO 1995-1996: Goiás. Rio de Janeiro: IBGE, n. 25, 1997.
- COSTA, M. H.; BOTTA, A.; CARDILLE, J. A. **Effects of large-scale changes in land cover on the discharge of the Tocantins River, Southeastern Amazonia**. Journal of Hydrology, v. 283, n. 12 (206-217), 2003.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário – 2000**. Rio de Janeiro: IBGE, 2000.
- LIMA, J. E. F. W.; SILVA, E. M. **Análise da situação dos recursos hídricos do Cerrado com base na importância econômica e socioambiental de suas águas**. In: anais do IX Simpósio Nacional do Cerrado e II Simpósio Internacional de Savanas Tropicais. Brasília: Embrapa-CPAC, p. 1-6. CD-ROM, On-line, 2008.
- KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. Conservation of the Brazilian Cerrado. *Conservation Biology*, v. 19 (3): 707-713, 2005.
- MIZIARA, F.; FERREIRA, N. C. Expansão da fronteira agrícola e evolução da ocupação e uso do espaço no Estado de Goiás: subsídios à política ambiental. In: FERREIRA, L. G. (org.). *A encruzilhada socioambiental -biodiversidade, economia e sustentabilidade no Cerrado*. Goiânia, Editora UFG, p. 107-126, 2008.
- MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; DA FONSECA, G. A. B.; KENT, J. **Biodiversity hotspots for conservation priorities**. *Nature*, v. 403 (853-858), 2000.
- PALACÍN, L.; AUGUSTA M. **História de Goiás**. 6<sup>a</sup> ed. Editora UCG, Goiânia, 1995.
- \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_. **O século do Ouro em Goiás**. Editora UCG, Goiânia, 1994.

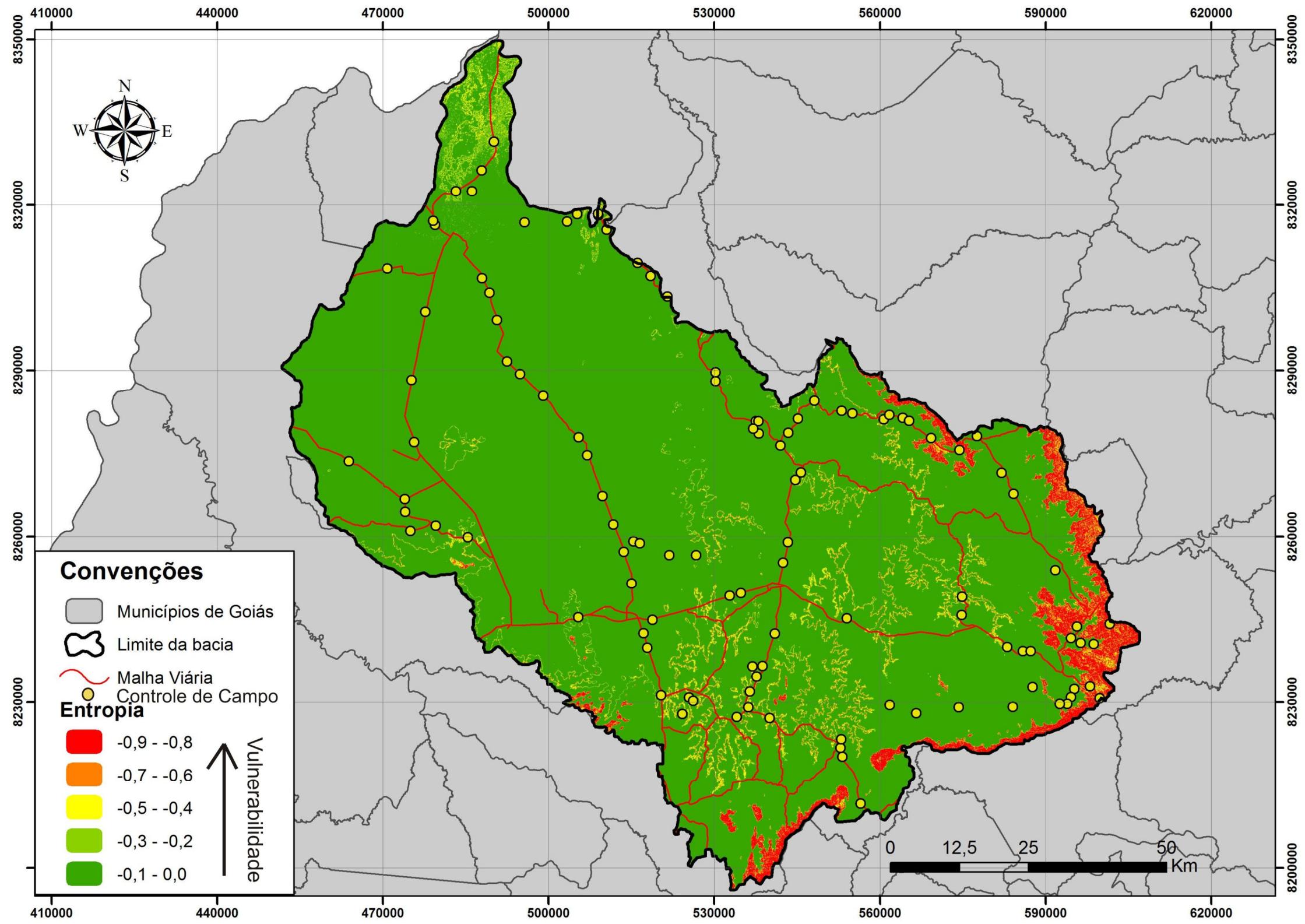
RATTER, J. A.; RIBEIRO, J. F.; BRIDGEWATER, S. **The Brazilian Cerrado Vegetation and Threats to its Biodiversity.** Annals of Botany, v. 80 (223-230), 1997.

SANO, E. E.; DAMBRÓS, L. A.; OLIVEIRA, G. C.; BRITES, R. S. **Padrões de cobertura de solos do Estado de Goiás.** In: FERREIRA JÚNIOR, Laerte Guimarães Ferreira. (org). A encruzilhada socioambiental. Goiânia: Ed. UFG, 2008.

SANO, E. E. ; ROSA, R. ; BRITO, J. L. ; FERREIRA, L. G. . **Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil.** Environmental Monitoring and Assessment, v. 166, p. 113-124, 2010.

SHIKI, S. Sistema agroalimentar nos cerrados brasileiros: caminhando para o Caos? In: SHIKI, S., GRAZIANO DA SILVA, J. e ORTEGA, A. C. (org.) **Agricultura, meio ambiente e sustentabilidade do cerrado brasileiro.** Uberlândia: EDUFU, 1997. p.135-167.

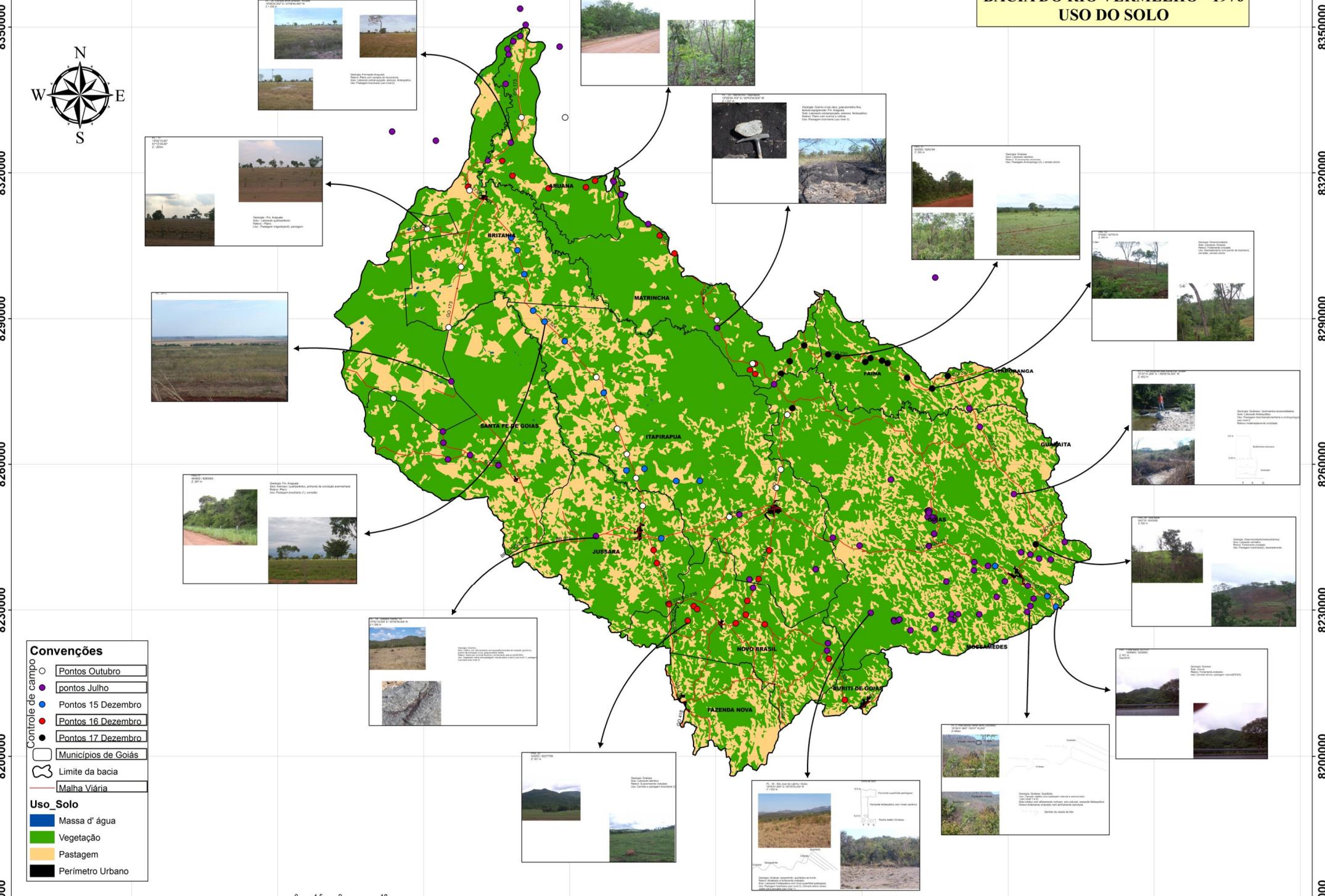
**A PÊNDICE 1 – Mapa de Entropia do Relevo (Vulnerabilidade Natural da Paisagem)**



**A PÊNDICE 2 – Mapa de Cobertura e Uso da terra – 1976 (Interpretação de Imagem Landsat MSS)**

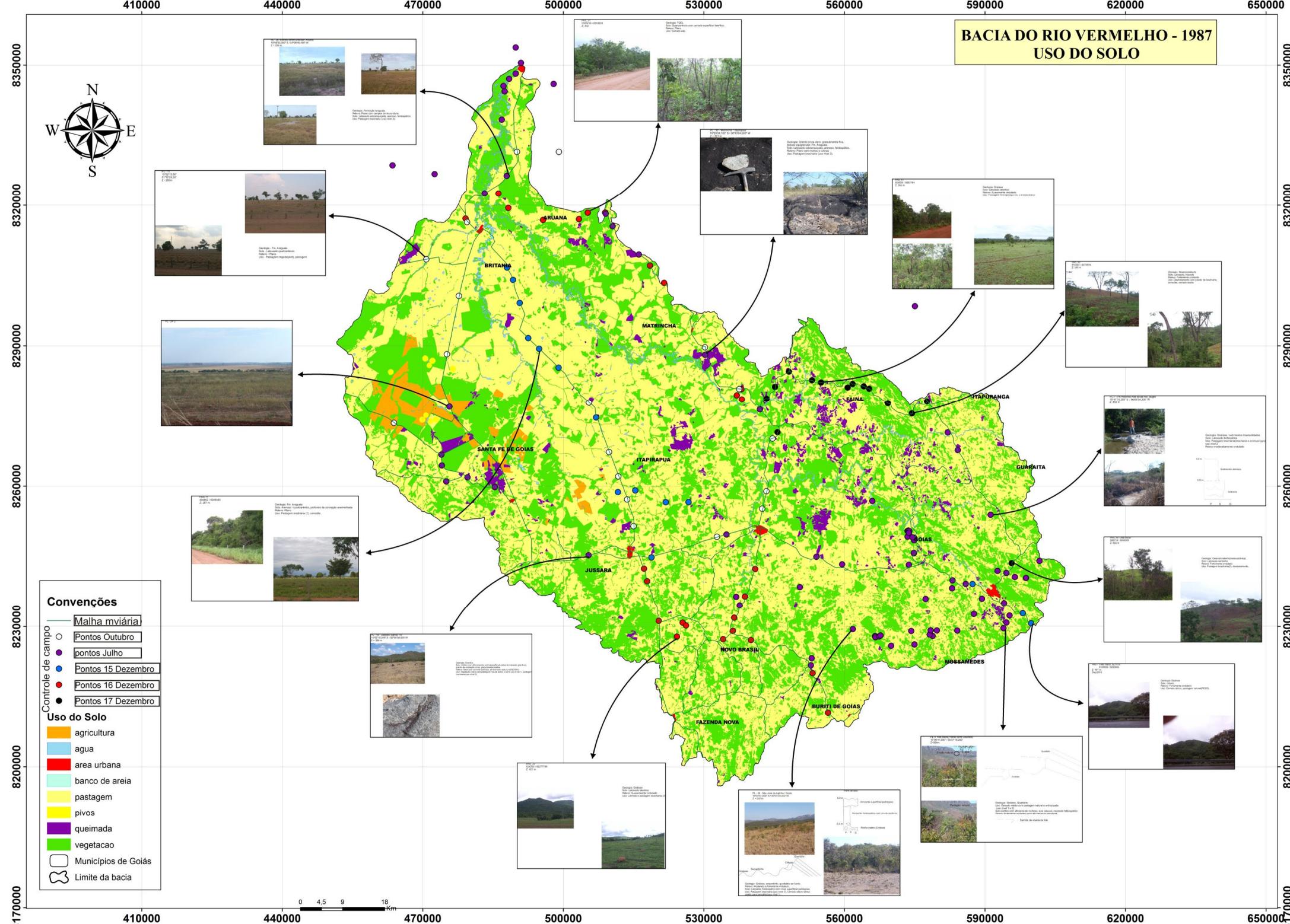
410000 440000 470000 500000 530000 560000 590000 620000 650000

## BACIA DO RIO VERMELHO - 1976 USO DO SOLO

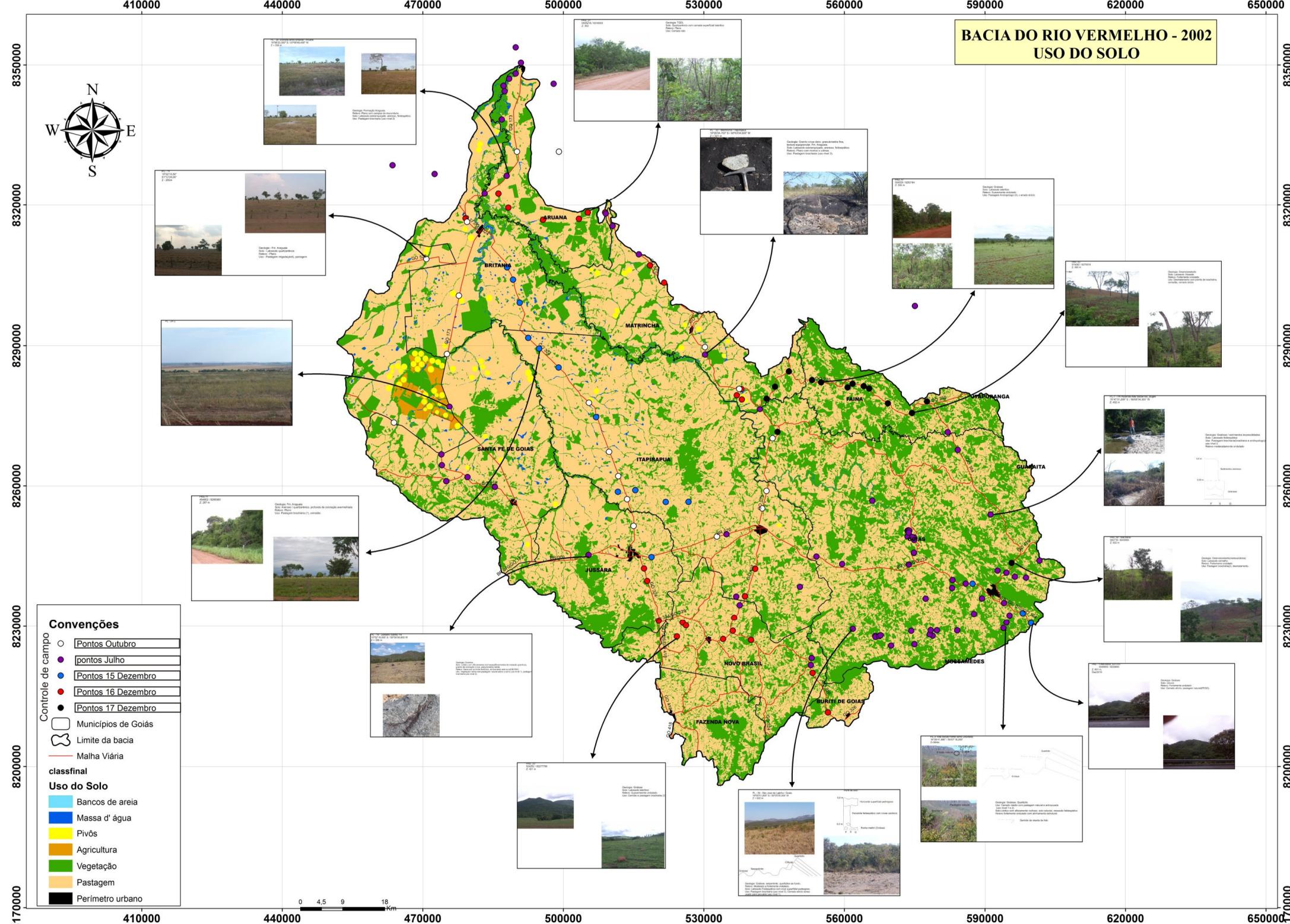


0 4,5 9 18 Km

**A PÊNDICE 3 – Mapa de Cobertura e Uso da terra – 1987 (Interpretação de Imagem  
Landsat TM)**



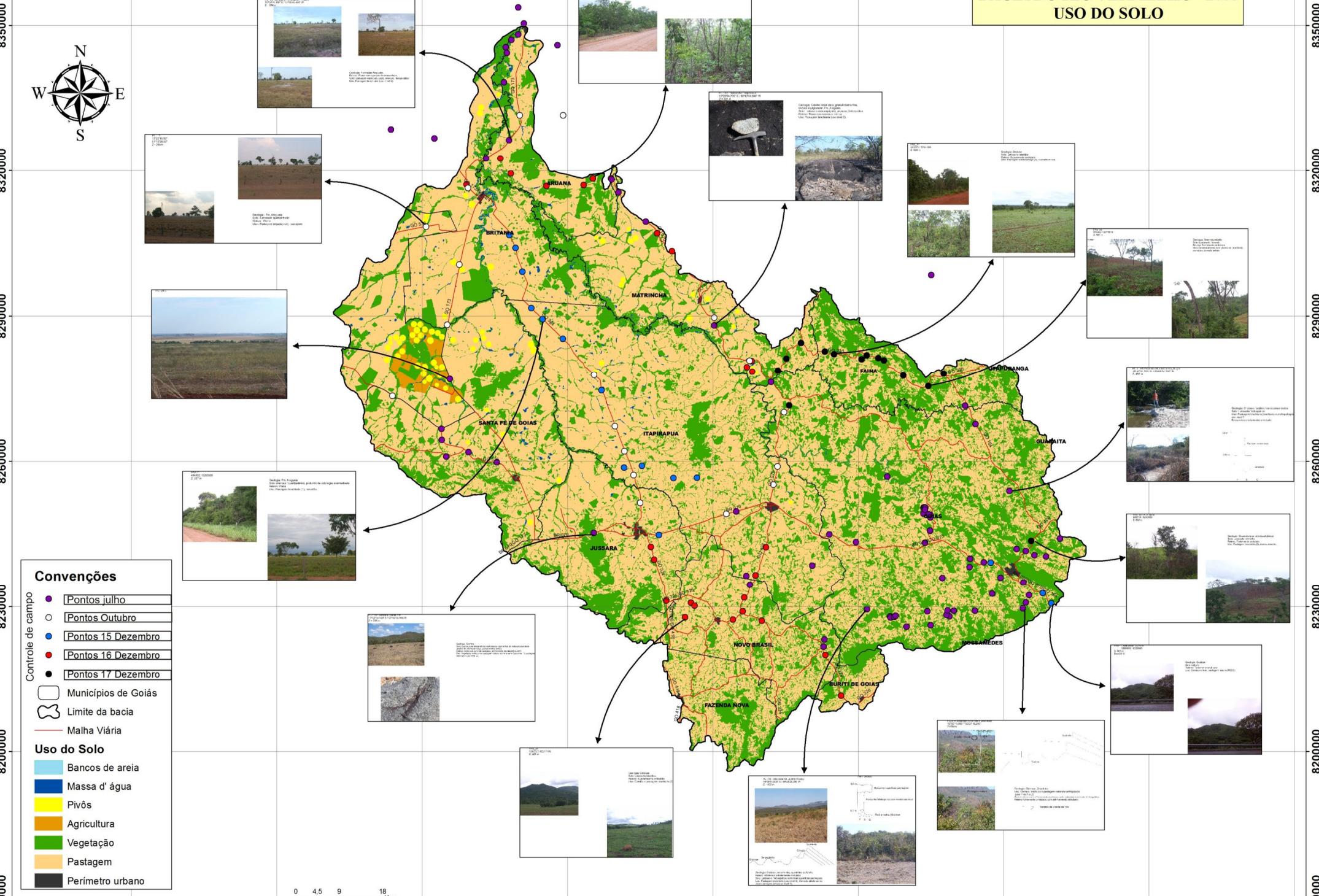
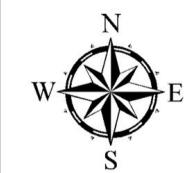
**A PÊNDICE 4 – Mapa de Cobertura e Uso da terra – 2002 (Interpretação de Imagem Landsat TM)**



**A PÊNDICE 5 – Mapa de Cobertura e Uso da terra – 2008 (Interpretação de Imagem Landsat TM)**

410000 440000 470000 500000 530000 560000 590000 620000 650000

## BACIA DO RIO VERMELHO - 2008 USO DO SOLO



0 4,5 9 18 Km

8350000 8320000 8290000 8260000 8230000 8200000 8170000

8350000

8320000

8290000

8260000

8230000

8200000

8170000