

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: GEOGRAFIA E GESTÃO DO TERRITÓRIO

**Processos de voçorocamento na Bacia Hidrográfica do Ribeirão
Vai Vem (Ipameri-GO)**

ERICA APARECIDA VAZ ROCHA

UBERLÂNDIA (MG)
2012

ERICA APARECIDA VAZ ROCHA

**Processos de voçorocamento na Bacia Hidrográfica do Ribeirão
Vai Vem (Ipameri-GO)**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial à obtenção do título de doutor em Geografia.

Área de concentração: Geografia e Gestão do Território.

Orientador: Prof. Dr. Silvio Carlos Rodrigues.

**Uberlândia (MG)
INSTITUTO DE GEOGRAFIA
2012**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

R672p Rocha, Erica Aparecida Vaz, 1975-
2012 Processos de voçorocamento na bacia hidrográfica do Ribeirão Vai Vem
 (Ipameri-GO) / Erica Aparecida Vaz Rocha. -- 2012.
 170 f.: il.

 Orientador: Silvio Carlos Rodrigues.
 Tese (doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de
Pós-Graduação em Geografia.
 Inclui bibliografia.

 1. Geografia - Teses. 2. Geomorfologia - Teses. 3. Voçorocas - Ipameri
(GO) - Teses. I. Rodrigues, Silvio Carlos. II. Universidade Federal de
Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Geografia. III. Título.

CDU: 910.1

Erica Aparecida Rocha Vaz

**Processos de voçorocamento na bacia Hidrográfica do Ribeirão Vai Vem
(Ipameri-GO)**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial à obtenção do título de doutor em Geografia.

Área de concentração: Geografia e Gestão do Território.

Banca Examinadora

Prof. Doutor Silvio Carlos Rodrigues (Orientador) - UFU

Prof. Doutor Antônio José Teixeira Guerra – UFRJ

Prof. Doutor Roberto Rosa - UFU

Prof. Doutor António de Sousa Pedrosa – Universidade do Porto

Prof. Doutor Vanderlei de Oliveira Ferreira – UFU

Local e data: Uberlândia – MG. 07/02/2012.

Resultado: _____.

Dedico a você...

AGRADECIMENTOS

Ao admirado professor Sílvio Carlos pela orientação no conhecimento e no crescimento profissional, o que foi possível graças à atenção, à confiança, a paciência, a compreensão e a orientação imprescindíveis para a realização desta, meu obrigado especial.

Ao professor António pela compreensão e pela transmissão de tão preciosos conhecimentos.

Principalmente aos meus lindos filhos Matheus e Gabriel por ser a razão da minha vida e assim me conduzir em busca da realização.

A Celestial pelo apoio e incentivo para a realização deste trabalho.

A minha adorada mãe Ana Maria pelo companheirismo, amizade, carinho e principalmente pela compreensão nas horas difíceis.

Aos meus irmãos Edu, Renato e Graciele pelo incentivo e confiança.

Aos componentes da banca por terem aceitado participar e pelo auxílio na conclusão desta pesquisa.

Ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFU pela oportunidade de conhecimento.

Aos meus amigos e colegas de trabalho pelo apoio e compreensão nas minhas ausências.

Aos companheiros do Laboratório de Geomorfologia e Erosão dos Solos – LAGES, em especial ao José Fernando pelo grande apoio.

Aos meus amigos especiais que sempre estiveram comigo, de todo meu coração:

Muito Obrigada!

“Não me deem fórmulas certas, por que eu não espero acertar sempre. Não me mostrem o que esperam de mim, por que vou seguir meu coração. Não me façam ser quem não sou. Não me convidem a ser igual, por que sinceramente sou diferente. Não sei amar pela metade. Não sei viver de mentira. Não sei voar de pés no chão. Sou sempre eu mesma, mas com certeza não serei a mesma pra sempre”.

Clarice Lispector

RESUMO

O principal objetivo deste trabalho consistiu na geração de um modelo de suscetibilidade a ocorrência de voçorocas a partir de parâmetros permanentes do meio físico. Para a geração deste modelo foram trabalhados parâmetros considerados relevantes a ocorrência de voçorocas, aos quais foram atribuídos valores de acordo com a sua influência no processo erosivo. Foram analisados os seguintes parâmetros: declividade, formas das vertentes, solo e uso da terra, os quais estão representados através de mapas temáticos que foram combinados resultando no produto final que é o mapa de suscetibilidade a ocorrência de voçorocas na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Vai Vem (Ipameri/GO). Estes parâmetros foram determinados com base na bibliografia pertinente e nos trabalhos de campo. A metodologia proposta para geração deste modelo de suscetibilidade de ocorrência a voçorocas teve como base o uso do ArcGIS 9.2, que permitiu a criação de um banco de dados onde se armazenaram mapas, imagens, dados estatísticos, possibilitando a sua posterior estruturação e análise. Uma vez constituída a base de dados espacial, procedeu-se a uma correlação ponderada com os demais fatores selecionados, tendo como objetivo final, a elaboração de uma cartografia rigorosa da suscetibilidade face ao surgimento de voçorocas. Para a caracterização física da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Vai Vem, utilizou-se a análise morfométrica que teve início pela ordenação dos canais fluviais e posteriormente a análise dos aspectos geométricos, das características da rede de drenagem e a análise hipsométrica. Foi feita uma setorização da bacia utilizando os critérios hidrográficos, hipsométricos e de declividade, permitindo identificar as diferenças quanto a assimetria no arranjo espacial da rede de drenagem. Com a análise do modelo e sua validação em campo possibilitou fazer algumas observações quanto à associação das características locais com a ocorrência das voçorocas.

Palavras-chave: Geomorfologia; dinâmica de vertentes; solo; voçorocas; modelo; suscetibilidade.

ABSTRACT

The main objective of this study was to generate a model of susceptibility to the occurrence of gullies using parameters of the permanent physical environment. For the generation of this model, relevant parameters were chosen, which believe explain the occurrence of gullies, which were assigned values according to their influence on the erosion process. The following parameters were analyzed: slope, forms the slopes, soil and land use, which are represented by means of thematic maps were combined resulting in the final product which is the susceptibility map of the occurrence of gullies in “Vai Vem” River Basin (Ipameri / GO). These parameters were determined based on relevant literature and field work. The proposed methodology for the generation of this model of susceptibility to the occurrence of gullies was based on the use of ArcGIS 9.2, which allowed the creation of a database where the stored maps, images, statistical data, allowing the structure and its subsequent analysis. Once formed the basis for spatial data, we proceeded to a weighted correlation with other selected factors, with the ultimate goal, to carrying out a rigorous mapping of susceptibility against the appearance of gullies. For the physical characterization of the “Vai Vem” River Basin (Ipameri / GO) were used the morphometric analysis that began by ordering the fluvial channels and then the analysis of the geometrical characteristics of the drainage network and hypsometric analysis. It was made a sectorization of the basin using the criteria hydrographic, hypsometric and slope, to identify the differences in the asymmetry in the spatial arrangement of the drainage network. By analyzing the model and its validation in the field allowed to make some observations about the association of local characteristics and the occurrence of gullies.

Keywords: geomorphology; dynamics of slopes; soil; gullies; model; susceptibility.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Os quatro níveis de pesquisa de Libault (1971).....	27
Figura 2 – Etapas seguidas para a elaboração do modelo.....	39
Figura 3 - Representação da combinação das curvaturas.....	58
Figura 4 - Variáveis geomorfométricas locais derivadas da altimetria.....	59
Figura 5 - Padrões de drenagem.....	67
Figura 6 - Forma das voçorocas.....	77
Figura 7 - Modelo de evolução de voçorocas.....	81
Gráfico 1 - Ipameri (GO): precipitação (2001-2011).....	115
Gráfico 2 - Ipameri (GO): temperatura máxima e mínima (2001-2011).....	117
Gráfico 3 - Ipameri (GO): termo pluviométrico (2001-2011).....	118
Gráfico 4 - Ipameri (GO): uso e ocupação da terra (1985)	123
Gráfico 5 - Ipameri (GO): uso e ocupação da terra (2011).....	126

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação da profundidade de uma voçoroca.....	79
Quadro 2 - Tipos de modelos.....	98
Quadro 3 - Ipameri (GO): características da bacia do ribeirão Vai Vem (2011).....	102
Quadro 4 - Ipameri (GO): sistema de drenagem da bacia do ribeirão Vai Vem (2011).....	103
Quadro 5 - valores atribuídos a cada classe do mapa reclassificado	140
Quadro 6 - Relação da erodibilidade com a classe pedológica dos solos.....	140
Quadro 7 - Valores atribuídos aos declives.....	143
Quadro 8 - Descrição do relevo a partir da presença de voçorocas.....	144
Quadro 9 - Valores atribuídos a curvatura (perfil).....	146
Quadro 10 - Valores atribuídos a curvatura (plana).....	146
Quadro 11 - Valores atribuídos ao uso do solo.....	149
Quadro 12 - Atribuição de valores para o modelo	151
Quadro 13 - Classes de suscetibilidade a ocorrência de voçorocas	151

LISTA DE FOTOS

Foto 1 – Ipameri (GO): fluxo formado com água da chuva (2007).....	83
Fotos 2 e 3 – Ipameri (GO): atuação do escoamento superficial na voçoroca (2007).....	83
Foto 4 – Ipameri (GO): voçoroca localizada na bacia do Ribeirão Vai-Vem (2007).....	84
Foto 5 – Ipameri (GO): <i>Pipings</i> (2007).....	86
Foto 6 – Ipameri (GO): escorregamentos ocasionados pela ação da água no interior da voçoroca (2007).....	86
Foto 7 – Ipameri (GO): processo de ravinamento e ação do escoamento superficial (2007)...	88
Foto 8 – Ipameri (GO): alcovas de regressão (2004).....	89
Foto 9 – Ipameri (GO): erosão por queda d’água (<i>plunge pool erosion</i>)	89
Foto 10 – Ipameri (GO) presença de vegetação em uma margem da incisão.....	90
Foto 11 – Ipameri (GO): Formação de ravina em área urbana devido ao escoamento superficial.....	93
Foto 12 – Ipameri (GO): características dos solos encontrados em alta vertente (2011)	109
Foto 13 – Ipameri (GO): características dos solos encontrados em baixa vertente (2011).....	109
Foto 14 – Ipameri (GO): Pisoteio de gado (2011).....	121
Foto 15 – Ipameri (GO) processos erosivos em área onde a vegetação foi alterada (2011).	129
Foto 16 – Ipameri (GO) talude de voçoroca ativa (2011).....	130
Foto 17 – Ipameri (GO): ravina conectada a cabeceira de drenagem (2011).....	131
Foto 18 – Ipameri (GO): Voçoroca ativa devido ao uso da terra - área de pastagem (2011).....	132
Foto 19 – Ipameri (GO): processo de ravinamento, onde a vegetação ainda não foi totalmente modificada (2011)	132
Foto 20 – Ipameri (GO): erosão em pequenos canais (2011).....	133
Foto 21 – Ipameri (GO): processos erosivos constatados na validação do modelo	153
Foto 22 – Ipameri (GO): processos erosivos constatados na validação do modelo em área de alta susceptibilidade	153

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Relação das declividades com o percentual da área total da bacia.....	105
Tabela 2 – Ipameri (GO): Análise Granulométrica do solo (2011).....	110
Tabela 3 – Ipameri (GO): Precipitação total/mensal em mm (2001 – (2011).....	114
Tabela 4 - Ipameri (GO): temperatura mínima (2001- 2011).....	115
Tabela 5 - Ipameri (GO): temperatura máxima (2001- 2011).....	116
Tabela 6 – Ipameri (GO): Setorização da bacia hidrográfica do ribeirão Vai Vem (2011)...	118
Tabela 7 – Ipameri (GO) declividade média por seção da bacia do ribeirão Vai Vem.....	119
Tabela 8 – Ipameri (GO): Uso e ocupação da terra – 1985 e 2011	123
Tabela 9 – Ipameri (GO) – Distribuição dos solos.....	140
Tabela 10 – Classificação para suscetibilidade a ocorrência de voçorocas.....	151

LISTA DE MAPAS

Mapa 1 - Localização da área de estudo: bacia Hidrográfica do Rio Vai-Vem	24
Mapa 2 - Bacia Hidrográfica do Rio Vai e Vem: hierarquia de drenagem.....	105
Mapa 3 - Bacia Hidrográfica do Rio Vai e Vem: declividade.....	107
Mapa 4 - Bacia Hidrográfica do Rio Vai e Vem: solos.....	112
Mapa 5 - Bacia Hidrográfica do Rio Vai e Vem: setorização.....	122
Mapa 6 - Bacia Hidrográfica do Rio Vai e Vem: uso e ocupação da terra (1985)	125
Mapa 7 - Bacia Hidrográfica do Rio Vai e Vem: uso e ocupação da terra (2011)	128
Mapa 8 - Bacia Hidrográfica do Rio Vai e Vem: localização das voçorocas.....	135
Mapa 9 - Bacia Hidrográfica do Rio Vai e Vem: curvatura do perfil.....	137
Mapa 10 - Bacia Hidrográfica do Rio Vai e Vem: curvatura do plana.....	138
Mapa 11 - Bacia Hidrográfica do Rio Vai e Vem: reclassificação dos solos.....	142
Mapa 12 - Bacia Hidrográfica do Rio Vai e Vem: reclassificação da declividade.....	145
Mapa 13 - Bacia Hidrográfica do Rio Vai e Vem: reclassificação da curvatura (perfil) da vertente.....	147
Mapa 14 - Bacia Hidrográfica do Rio Vai e Vem: reclassificação da curvatura (plana) da vertente.....	148
Mapa 15 - Bacia Hidrográfica do Rio Vai e Vem: reclassificação do uso da terra (2011).....	150
Mapa 16 - Bacia Hidrográfica do Rio Vai e Vem: suscetibilidade à ocorrência de voçorocas....	155

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

MDT - Modelos Digitais de Terreno

PI - Planos de Informação

SIEG - Sistema Estadual de Estatística e Informações Geográfica de Goiás

SIG - Sistema de Informações Geográficas

SIGEL/ANEEL - Sistema de Informação Georreferenciada do Setor Elétrico

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	19
JUSTIFICATIVA.....	22
1. ÁREA DE ESTUDO.....	24
1.1. Objetivos.....	25
1.1.1. Objetivo Geral.....	25
1.1.2. Objetivos Específicos.....	25
1.2. Metodologia.....	26
1.2.1. Procedimentos metodológicos.....	28
1.2.2. Levantamento e obtenção dos dados.....	31
1.2.3. Levantamentos de campo.....	32
1.2.4. Geração do banco de dados geográficos.....	32
1.2.5. Atributos e parâmetros de análise.....	33
1.2.6. Formas da vertente.....	34
1.2.7. Distribuição dos solos.....	34
1.2.8. Declividade.....	35
1.2.9. Uso da terra	36
1.3. Morfometria da bacia.....	36
1.4. Setorização da bacia hidrográfica.....	37
1.5. Modelo de suscetibilidade ao voçorocamento.....	38
2. CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO.....	40
2.1. Geologia Regional.....	40
2.2. Geomorfologia.....	41
2.3. Vegetação Natural.....	42
2.4. Uso da Terra.....	43
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DE LITERATURA.....	45
3.1. A bacia hidrográfica como unidade de estudo.....	45
3.1.1. Declividade.....	49
3.1.2. Vertentes.....	53
3.1.3. Morfometria fluvial.....	60
3.2. Características morfométricas da bacia hidrográfica.....	62
3.2.1. Área da bacia hidrográfica	62

3.2.2. Coeficiente de compacidade (Kc).....	63
3.2.3. Coeficiente de forma (Kf).....	63
3.2.4. Índice de circularidade (IC).....	64
3.2.5. Padrão de Drenagem.....	65
3.2.6. Densidade de drenagem.....	67
3.3. Ordem dos cursos de água.....	68
3.3.1. Comprimento do curso d'água principal.....	69
3.3.2. Comprimento total dos cursos d'água.....	70
3.4. O processo de formação das voçorocas.....	70
3.5. Definição de voçorocas e ravinas.....	73
3.6. Gênese das voçorocas.....	76
3.7. Voçorocas urbanas e rurais.....	92
3.8. Uso da terra.....	94
3.8.1. A evolução do uso da terra.....	94
3.9. Modelagem Ambiental	97
3.9.1. Os parâmetros utilizados na ponderação dos fatores.....	100
4. RESULTADOS	102
4.1. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do ribeirão Vai Vem.....	102
4.2. Declividade e orientação.....	106
4.3. Tipologia e distribuição geográfica dos solos	108
4.4. Clima.....	113
4.4.1. Comportamento dos elementos climáticos (precipitação e temperatura).....	114
4.5. Setorização da Bacia do Ribeirão Vai Vem.....	119
4.6. Uso da terra	123
4.6.1. Uso da terra atual (2011).....	126
4.7. Ravinas e voçorocas na bacia do ribeirão Vai Vem.....	129
4.8. Avaliação das curvaturas.....	136
4.9. O mapa de suscetibilidade: a apresentação dos resultados.....	139
4.9.1. Tipos de solo.....	139
4.9.2. Declividade.....	143
4.9.3. Avaliação das curvaturas.....	146

4.9.4. Uso da Terra.....	149
4.10. O mapa de suscetibilidade: a apresentação dos resultados.....	151
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	156
REFERÊNCIAS.....	159
ANEXOS.....	166

INTRODUÇÃO

A erosão representa um grande problema ambiental, tanto em áreas rurais como em áreas urbanas, constituindo-se de um processo em que há desagregação e transporte de partículas de solo. O desencadeamento desse processo em diferentes áreas está relacionado à erodibilidade do solo, à influência da topografia e a fatores climáticos, e ainda ao tipo e à forma de uso da terra que são desenvolvidos. A interação de fatores naturais e antrópicos determinam uma maior ou menor atividade erosiva, em conformidade com os aspectos ecodinâmicos presentes na área.

Esse processo pode ocorrer de duas formas na natureza, sendo uma a que acontece em equilíbrio com a formação do solo, conhecida por erosão natural, e outra a que se desenvolve ou evolui de forma acelerada, denominada erosão antrópica.

A erosão hídrica, causada principalmente pela ação da água, inicia-se com o impacto das gotas da chuva no solo, o que desagrega as partículas que serão transportadas pelo escoamento superficial. Esse escoamento é formado quando a intensidade da chuva supera a capacidade de infiltração do solo.

O fluxo inicialmente será difuso na superfície, levando a uma maior remoção dos horizontes superficiais do solo, causando, portanto, uma erosão laminar. Essa lâmina de fluxo superficial que escoar em direção às cotas mais baixas tende a concentrar-se, formando canais, caracterizando a erosão linear. Havendo uma maior concentração do fluxo, tal processo é intensificado, formando então as ravinas, que posteriormente poderão evoluir para voçorocas.

Encontram-se na literatura diferentes opiniões quanto ao processo de voçorocamento e também à definição de voçoroca, que pode ser considerada como uma ravina de grandes dimensões, originada pela grande concentração de fluxo superficial, na maioria das vezes é provocada pela ação antrópica combinada com a ação do fluxo subsuperficial e subterrâneo

(BASTOS, 1999 p.2; BIGARELLA, 2003, p.931). Enquanto ravinas são incisões com menos de 50 centímetros, e voçorocas incisões com largura e profundidade superiores a 50 centímetros (OLIVEIRA, 1999, p.59; CAMAPUM et al., 2006). Os conceitos encontrados na literatura remetem a definições de voçorocas ligadas aos aspectos dimensionais ou relacionadas à sua gênese, conforme citado acima.

Optou-se aqui por diferenciar voçorocas de ravinas na área da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Vai-Vem, a partir da sua formação e evolução. Nesse caso, consideramos as ravinas como incisões provocadas pelo escoamento superficial, independentemente da sua profundidade, enquanto as voçorocas são incisões que se desenvolveram a partir da atuação de diferentes fenômenos, como *pipings*, solapamentos e erosão superficial, que associados atribuem um desenvolvimento acelerado a esse processo erosivo. Portanto, consideram-se como voçorocas as incisões que atingem o lençol freático.

O desenvolvimento dos processos erosivos está condicionado às características físicas e à complexidade da interrelação dos mecanismos envolvidos. Os fatores que contribuem para a gênese e evolução de processos erosivos são as condições climáticas e os fatores topográficos, considerando-se a declividade, as formas da vertente, os solos e a cobertura vegetal, além das atividades antrópicas que por vezes contribuem para a sua evolução.

De acordo com a economia da região e as expectativas de crescimento da cidade, vê-se a necessidade de intensificação de estudos voltados à utilização dos recursos naturais, pois o conhecimento dos recursos e a análise das características físicas locais e de seus limites possibilita a diminuição dos impactos causados por atividades humanas sem o devido planejamento.

O município de Ipameri-GO tende a sofrer mudanças tanto sociais quanto naturais, pois o crescimento na produção leva ao uso de novas técnicas, como a utilização de maquinários na área rural e também modificações na área urbana, uma vez que o município

tem procurado investimentos em construções e instalação de indústrias, levando assim a uma transformação espacial e a consequências ambientais.

Nesse sentido, com a intenção de conhecer a dinâmica erosiva da área de estudo, optou-se pela geração de um modelo de suscetibilidade para a ocorrência de voçorocamento na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Vai-Vem.

Para a geração do modelo, foram definidos parâmetros relacionados aos condicionantes das voçorocas com base nas características físicas permanentes da área, nas propostas de diversos pesquisadores encontradas na revisão bibliográfica e na pesquisa de campo realizada na área de estudo. Foi criado um banco de dados usando o *software* ArcGIS 9.2., estruturado com mapas, imagens, dados estatísticos e informações referentes aos trabalhos de campo.

A esses parâmetros foram atribuídos valores de acordo com a sua relevância quanto à ocorrência de voçorocas, e então gerados mapas temáticos que foram reclassificados e, a partir de combinações, foi produzido um mapa de suscetibilidade para a ocorrência de voçorocas na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Vai-Vem.

JUSTIFICATIVA

Conservar e preservar os recursos naturais torna-se uma necessidade e um dever que a todos se impõe. Atualmente, devido a atividades humanas desordenadas, como a retirada da cobertura vegetal, substituída por pastagens e lavouras, e construções sem o devido planejamento, foram gerados graves impactos ao meio ambiente; entre eles destaca-se a erosão de solos, visto que é um processo que pode ter origens naturais e ser acelerado pela ação da água no solo desmatado, o que intensifica o escoamento superficial, tornando-se um problema sério devido ao seu poder destrutivo.

Com efeito, o inadequado uso do solo promove o aparecimento e a aceleração de processos erosivos lineares, como ocorre em vários pontos na área em estudo, em que ravinas e voçorocas retalham o relevo. Dessa forma, a realização de pesquisas voltadas ao conhecimento desses processos faz-se necessária, na medida em que contribui com informações imprescindíveis na busca do desenvolvimento em harmonia com o meio ambiente.

Sendo assim, o conhecimento da dinâmica erosiva para a produção de um modelo de suscetibilidade oferece informações que podem orientar a ocupação territorial com vistas à prevenção de processos erosivos.

Além disso, a bacia do Ribeirão Vai-Vem apresenta diferentes graus de alteração em áreas que são destinadas à produção agropecuária, o que contribui para a eclosão desses processos.

A escolha da área em questão deve-se ao fato da constatação de voçorocas em áreas destinadas à ocupação urbana e rural. Nas áreas rurais, o município apresenta parte de seu território utilizado para atividades agropecuárias, principalmente para a criação de gado bovino, com diferenciados graus de conservação. Essas atividades são condicionadas pela

morfologia regional e, dessa forma, disseminam-se por toda a área do território municipal. Entretanto, verifica-se que em muitos locais o relevo mais ondulado foi incorporado à produção de pastagens, o que, associado às características físicas locais, faz com que os processos erosivos se desenvolvam com maior vigor, diminuindo fortemente o potencial de uso dessas áreas.

Nas áreas urbanas, foi constatada a presença de voçorocas próximas a loteamentos, pondo em situação de risco a população, pois a ação erosiva nessas áreas quase sempre está associada à intervenção inadequada do homem no meio. A atuação do homem no desenvolvimento de voçorocas urbanas está ligada à concentração de fluxo por alteração no terreno com aberturas de ruas, construções sem planejamento adequado, estruturas de drenagens superficiais mal planejadas e exposição do solo aos impactos da água da chuva.

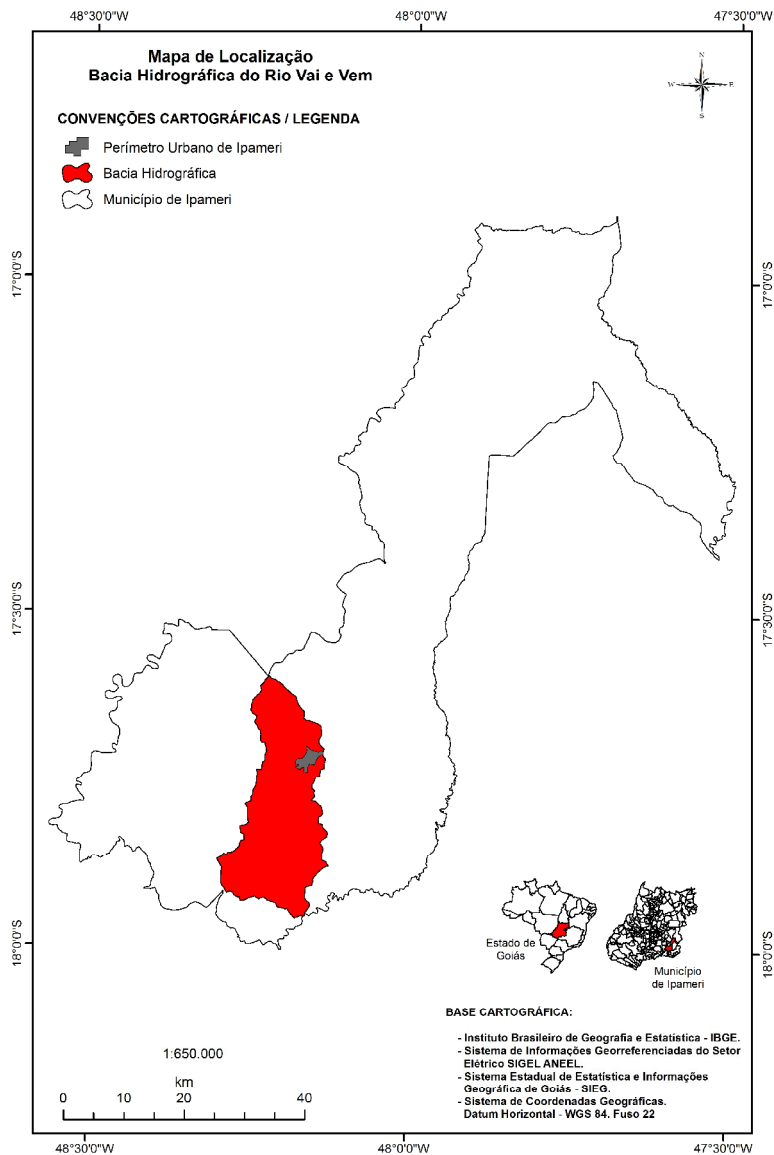
Esses fatores, relacionados ao uso da terra em áreas rurais e urbanas, têm mostrado a necessidade de se conhecer a dinâmica erosiva, considerando os seus condicionantes para com isso identificar a suscetibilidade ao processo de voçorocamento.

Assim, o desenvolvimento desta pesquisa busca, através da metodologia utilizada na avaliação da suscetibilidade ao processo de voçorocamento, gerar um modelo preditivo que possa avaliar a ocorrência de voçorocas na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Vai-Vem.

1. ÁREA DE ESTUDO

A bacia do Ribeirão Vai-Vem está localizada entre o plano cartesiano de 786152 a 804673 ME e de 8012299 a 8052507 MN, na Zona 22. Possui uma área de 416,21 km² e é afluente do Rio Veríssimo, integrando-se à bacia do Rio Paranaíba. Está totalmente inserida no município de Ipameri, situado na região sudeste do estado de Goiás (Mapa1), distante cerca de 200 km de Goiânia-GO.

Mapa 1 - Localização da área de estudo: bacia Hidrográfica do Rio Vai -Vem.
Elab.: Rocha (2012)



1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo Geral

- Elaborar e avaliar um modelo de suscetibilidade de ocorrência de voçorocas com base em atributos do meio físico, utilizando técnicas de geoprocessamento com controle de campo na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Vai-Vem, em Ipameri-GO.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Identificar as variáveis importantes para a modelagem de voçorocas com base na literatura.
- Definir os pesos dos atributos dos diferentes fatores considerados com base na literatura pertinente e nas observações de campo para análise do modelo de suscetibilidade.
- Elaborar os seguintes mapas temáticos: interpretação morfopedológica, declividade, uso do solo e curvatura das vertentes e morfometria da bacia.
- Criar um banco de dados com as informações necessárias para a geração do modelo de suscetibilidade.
- Criar um modelo de suscetibilidade ao aparecimento de voçorocas.
- Validar o produto do modelo de suscetibilidade.

1.2. Metodologia

Para o desenvolvimento de uma pesquisa científica, faz-se necessária a estruturação de uma metodologia que seja capaz de organizar sistematicamente as etapas de um trabalho. Ross (2010, p. 29) afirma que “[...] é a metodologia que norteia a pesquisa”. Considerando, portanto, a metodologia aplicada na pesquisa, é importante ressaltar que o uso de métodos adequados também será necessário para validar os estudos realizados. Assim, “[...] a instrumentalização e as técnicas operacionais funcionam como apoio” (ROSS, 2010, p. 29).

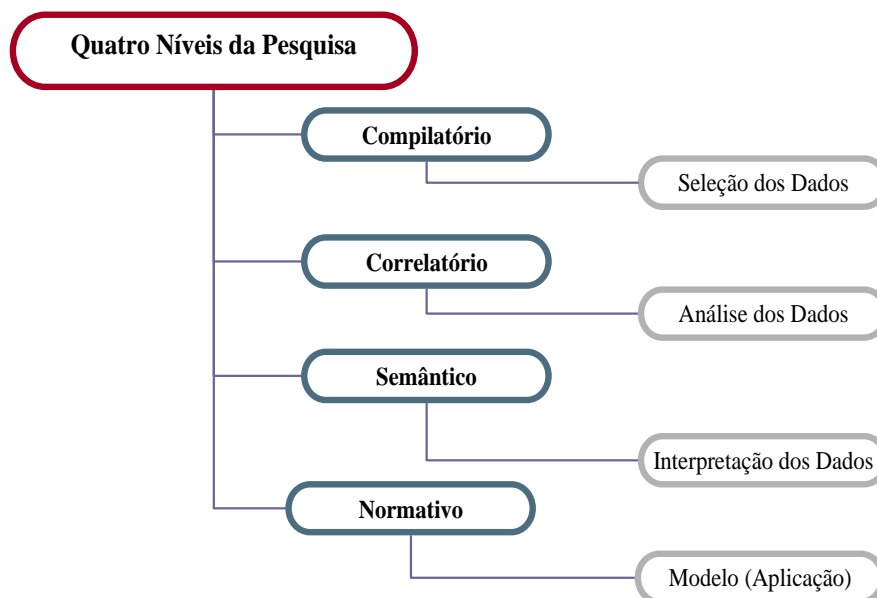
O autor destaca ainda que

A metodologia deve representar a espinha dorsal de qualquer pesquisa, e independente do seu caráter, esta deve se apoiar em um tripé fundamental, constituído por: domínio do conhecimento específico-teórico conceitual, domínio da metodologia a ser aplicada e domínio das técnicas de apoio para a operacionalização do trabalho (ROSS, 2010, p.29).

Nesse sentido, Libault (1971 apud ROSS, 1990), em “Os Quatro Níveis da Pesquisa Geográfica”, apresenta um encadeamento de métodos que está dividido em quatro etapas genéricas, podendo ser aplicado em pesquisas geográficas. Com essa metodologia, busca-se uma forma de orientar, organizadamente, a investigação científica no desenvolvimento da pesquisa. Para tanto, aponta quatro níveis: nível compilatório, nível correlatório, nível semântico e nível normativo.

Definida a metodologia de Libault (1971), citado por Ross (1990), para orientar esta pesquisa, foi preciso adaptá-la de acordo com os objetivos propostos e, então, determinar as atividades a serem desenvolvidas em cada etapa (Figura 1).

Figura 1 - Os quatro níveis de pesquisa de Libault (1971).



Fonte: Ross (1990).

Org: Rocha (2011).

O nível compilatório refere-se à verificação de fatos e fenômenos a serem pesquisados, compreendendo os levantamentos e a coleta dos dados. É a fase inicial do trabalho, em que é feita a escolha da área de estudo, o levantamento bibliográfico, a compilação das informações sobre as características físicas da área e a análise da bibliografia sobre o assunto. Esse nível está dividido em duas etapas: a primeira relacionada à obtenção de dados e a segunda correspondente à seleção das informações, sendo muito importante o conhecimento teórico, uma vez que ao serem selecionados os dados é necessário identificar aqueles que são fundamentais para atingir os objetivos propostos na pesquisa.

O segundo nível, o correlatório, apresentado por Libault (1971), é a fase em que são feitas as correlações dos dados compilados de forma a proceder à interpretação, considerando todos os dados já obtidos.

Como validação dessa etapa, são propostos ainda pelo mesmo autor três fatores que devem ser considerados: a homogeneidade e a viabilidade de comparação dos dados, que devem ser obtidos em condições homogêneas; as condições de caracterização de um

fenômeno geográfico, relacionando-o aos valores numéricos em função da localização geográfica; e, por último, a organização dos dados antes de passar para a análise definitiva (LEITE, 2011).

O nível semântico corresponde à interpretação dos dados após a correlação destes, seguindo para uma síntese das informações; é nessa fase que o trabalho caminha para suas conclusões finais. Portanto, o presente trabalho propõe nesse nível a consulta, o ajuste e a análise dos dados espaciais que possibilitam a seleção, a correlação e, finalmente, a interpretação dos resultados, chegando ao processamento das imagens.

No nível normativo, fase final da proposta de Libault (1971 apud ROSS, 1990), os resultados da pesquisa serão apresentados através de modelos. É importante ressaltar que essa etapa representa o ponto de convergência dos resultados das etapas anteriores em que também há a aplicação de todas as informações concebidas no decorrer da pesquisa, gerando produtos como modelos numéricos, mapas temáticos, gráficos e tabelas, e ainda “[...] subsidia a aplicação da pesquisa” (ROSS, 2010, p. 35).

1.2.1. Procedimentos metodológicos

De acordo com o que foi abordado na revisão bibliográfica, o modelo pode ser entendido, de acordo com Christofolletti (1999, p.8), como sendo “qualquer representação simplificada da realidade, de um aspecto de interesse que possibilite reconstruí-la ou prever um comportamento, uma transformação ou uma evolução”.

Ainda segundo o autor, os procedimentos metodológicos na análise dos fenômenos estão relacionados com a natureza do objeto de estudo e com a visão adotada pelo cientista, e ao lado da estrutura conceitual é necessária a disponibilidade da instrumentação tecnológica para a coleta de informações e efetiva ação analítica.

A modelagem representa, para Silva e Calheiros (2004), uma nova perspectiva na percepção do espaço geográfico e nos relacionamentos espaciais, e vem alterando a análise de mapas e de seus procedimentos provenientes das modelagens das novas tecnologias na abordagem de dados espaciais.

Para a obtenção de parâmetros a fim de gerar um modelo de suscetibilidade para a ocorrência de voçorocas da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Vai-Vem, procurou-se, através do Sistema de Informações Geográficas - SIG, a geração de uma base de dados tendo mapas temáticos e imagens da área de pesquisa como base, uma vez que, de acordo com Figueiredo (2007):

O sistema de informação geográfica (SIG) na modelagem do terreno tem como finalidade processar as informações espaciais disponíveis da base de dados das imagens de sensores remotos e da coleta de campo, e posteriormente gerar abstrações digitais das condições reais do terreno.

Além disso, Valeriano (2003) afirma que a disponibilidade crescente de bases topográficas digitais, aliada ao uso de Sistemas de Informação Geográfica - SIG tem impulsionado o desenvolvimento de métodos automáticos de extração de variáveis topográficas para posterior tratamento e integração em ambiente computacional, sendo que, a partir dos dados topográficos, é possível a caracterização de unidades da paisagem com base em variáveis morfológicas que estão associadas a feições geométricas da superfície sob análise.

Para Silva e Calheiros (2004), os fenômenos e situações, ao se manifestarem dentro de dimensões essenciais do espaço e do tempo, admitem relações territoriais e temporais e, entre essas relações, é possível tentar identificar encadeamentos de causas *versus* efeitos com possível identificação dos processos transformadores dos fenômenos e das situações ambientais.

Assim, ainda de acordo com os autores, ao observar a área, o pesquisador verifica seus elementos e suas relações, estabelecendo então uma representação conceitual, um modelo em que é feita a caracterização das entidades que possuem expressão espacial e temporal.

Nesse sentido, esta pesquisa visa a elaborar um modelo de suscetibilidade a fim de analisar a ocorrência de voçorocas em escala de bacia hidrográfica, utilizando atributos do meio físico.

A análise de ocorrência de voçorocas na área da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Vaim foi desenvolvida segundo o método de sobreposição ou combinação de mapas temáticos, gerando um modelo preditivo.

Definida a metodologia para o desenvolvimento da pesquisa, as atividades a serem realizadas foram estruturadas da seguinte forma:

⇒ **Nível compilatório:**

- ✓ Levantamento e obtenção de dados
- ✓ Levantamento de campo

⇒ **Nível correlatório:**

- ✓ Geração de banco de dados geográficos

⇒ **Nível semântico:**

- ✓ Obtenção de atributos e parâmetros de análise
- ✓ Análise dos parâmetros
- ✓ Observação em campo

⇒ **Nível Normativo:**

- ✓ Geração do modelo
- ✓ Validação em campo
- ✓ Análise do modelo de suscetibilidade

1.2.2. Levantamento e obtenção dos dados

Após ter determinado a metodologia a ser aplicada para o desenvolvimento da pesquisa, foram definidas as atividades a serem realizadas, começando pela revisão bibliográfica, que contou com a contribuição de outras pesquisas, buscando, dessa forma, enriquecer cientificamente o trabalho.

Outra fase dessa etapa foi o levantamento do material e das informações existentes para a caracterização da área de estudo. As imagens utilizadas para o mapeamento de Uso e Ocupação da Terra em 1985 e 2011 são do satélite *Landsat 5TM*, da Órbita 221 – Ponto 072. Essas imagens foram obtidas pelo sensor nos dias 16 de julho de 1985 e 25 de agosto de 2011, caracterizando o período seco da região e promovendo, portanto, maior diferenciação entre as classes analisadas, fato que também foi potencializado pela composição colorida RGB com as bandas 4, 2 e 7, respectivamente, o que facilitou a distinção entre os tipos de coberturas vegetais analisados.

Os mapas em que se utilizaram técnicas de processamento e interpretação de imagens foram: Mapa de Uso e Ocupação da Terra – 1985; e Mapa de Uso e Ocupação da Terra – 2011. E os mapas em que se utilizou o processamento de dados *Shuttle Radar Topography Mission* – SRTM - foram: mapa de declividade, mapa de direção da vertente, mapa de curvatura plana, mapa de curvatura em perfil e mapa hipsométrico.

Outros materiais consultados sobre a bacia fazem parte do “*Projeto Bacia Hidrográfica do Ribeirão Vai-Vem – Ipameri-GO*” (CUNHA et al., 2009), desenvolvido com o apoio da Prefeitura Municipal de Ipameri-GO.

Os dados climáticos, a pluviosidade e a temperatura máxima e mínima (médias mensais) referentes aos anos de 2001 a 2011 foram obtidos no Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, em Goiânia-GO.

1.2.3. Levantamentos de campo

O trabalho de campo foi realizado para a caracterização geoambiental, visando à confirmação da localização das voçorocas, à percepção das características litológicas e geomorfológicas dos processos morfodinâmicos do uso e da ocupação da terra e à distribuição dos solos. Na área de estudo foram visitados 55 pontos, onde foram realizadas coletas de amostras de solo para análise granulométrica, registro fotográfico, observações locais e uma caracterização geral da área.

Esse procedimento buscou a avaliação da qualidade do ambiente físico, visando a reconhecer os principais aspectos geoambientais e, em particular, os relacionados à presença de voçorocas. Além disso, foram realizadas outras visitas a campo a fim de validar o modelo de suscetibilidade.

1.2.4. Geração do banco de dados geográficos

De acordo com Filho e Iochpe (2001), o banco de dados geográficos, que é o componente de armazenamento de um SIG, estrutura e armazena os dados de forma a possibilitar a realização das operações de análise e consulta.

Nesta pesquisa, o banco de dados foi criado com o propósito de armazenar e gerenciar as informações coletadas e processadas.

Os mapas processados com base nos dados SRTM foram confeccionados somente com a utilização de ferramentas e extensões pré-existent no *Software* ArcGIS 9.2, com os aplicativos *ArcMap*, *ArcCatalog* e *ArcToolbox*.

Os dados SRTM foram obtidos do *site* da Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (EMBRAPA, 2010) e utilizados na confecção e processamento de um Modelo Digital de Elevação (MDE).

Nos mapas de Uso e Ocupação da Terra, foi utilizada a técnica de classificação supervisionada, com edição e correção de alguns erros gerados e confirmação em campo também com a utilização do *Software ArcGIS 9.2*, com os aplicativos *ArcMap*, *ArcCatalog* e *ArcToolbox*.

A base cartográfica que integra os mapas foi obtida dos *sites* do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), do Sistema Estadual de Estatística e Informações Geográfica de Goiás (SIEG, 2011) e do Sistema de Informações Georreferenciadas do Setor Elétrico – Agência Nacional de Energia Elétrica (SIGEL-ANEEL, 2009).

1.2.5. Atributos e parâmetros de análise

Essa etapa consistiu em identificar e sistematizar os atributos do terreno relevantes para a análise do modelo de suscetibilidade. Nesse sentido, foram considerados os seguintes elementos após revisão bibliográfica e visitas de campo: declividade, formas das vertentes, solos e uso da terra. A determinação desses fatores foi embasada em trabalhos já apresentados (CONCIANI, 2008; BIGARELLA, 2003; SILVA et al., 2003; GUERRA, 1998) que tratam dos condicionantes da origem e evolução das voçorocas.

Os dados referentes aos solos foram identificados a partir da descrição através de levantamento de campo. Quanto à classificação textural, esta foi feita em laboratório, utilizando-se a metodologia de análises granulométricas em que é feita a separação do material mais fino. Os demais fatores, a declividade, a curvatura das vertentes e o uso e a ocupação do solo, foram tratados por meio de processamentos através do *ArcGIS versão 9.2*.

1.2.6. Formas da vertente

Os mapas de curvatura em perfil (vertical) e curvatura plana (horizontal) foram elaborados a partir de um Modelo Digital de Terreno. As categorias dos mapas de curvatura foram definidas dividindo-as em: muito convexo, convexo, plano, côncavo e muito côncavo. Nessa etapa, os cálculos adotados pelo programa forneceram valores positivos ou negativos para as curvaturas côncavas e convexas e valores nulos para a área plana.

Os dados referentes à curvatura plana e à curvatura em perfil – sendo a primeira uma seção do relevo paralela ao sentido das curvas de nível, e a segunda uma curvatura em perfil definida com base em uma seção transversal às curvas de nível – foram geradas a partir do *software ArcGIS 9.2* com a ferramenta *curvature*, em que a curvatura é calculada por célula, comparando-se o valor de elevação de cada uma com o das células contíguas.

1.2.7. Distribuição dos solos

As características que o solo apresenta influenciam no desencadeamento de voçorocas, e a sua caracterização faz parte desta pesquisa. Para o modelo, esse parâmetro foi considerado de maior relevância. Tal fato se deve à grande ocorrência de voçorocas em áreas com características semelhantes quanto à distribuição dos solos na vertente.

O procedimento foi realizado a partir de visitas a campo com coleta de amostras de solo em diferentes pontos da bacia, observando a sua localização na vertente. Foram coletadas 43 amostras nos horizontes superficiais e posteriormente definidas sua localização no mapa.

As amostras coletadas e identificadas foram levadas para análise granulométrica no Laboratório de Geomorfologia – IG/UFU. Nessa análise, foi feita a separação entre o material mais grosseiro e aquele de menor fração, normalizada pela ABNT/NBR 7181/82. A

distribuição granulométrica dos materiais granulares, areias e pedregulhos foram obtidos pelo processo de peneiramento de uma amostra de solo, enquanto que para siltes e argilas foi utilizado o processo de sedimentação.

Também foi feita uma caracterização geral em campo quanto à cor do solo; para tanto foi utilizada a tabela de cores *MUNSELL*, e a análise da tipologia buscou abranger os diferentes ambientes, sendo os pontos amostrais localizados em campo com uso de GPS e, posteriormente, na imagem de satélite, o padrão de imageamento correspondente a cada classe de solo. Todo o mapeamento visual foi feito a partir dos módulos disponíveis no *software ArcGIS 9.2*.

Os dados foram analisados e, com o auxílio da literatura e de outras características físicas da área e do *software ArcGIS 9.2*, foi feito o mapa de interpretação morfopedológica da área da bacia.

1.2.8. Declividade

A declividade foi considerada como um dos parâmetros para gerar o modelo de suscetibilidade por se constituir em um atributo topográfico relevante no desenvolvimento de voçorocas, uma vez que associada a outros interfere na velocidade do fluxo superficial e subsuperficial de água, e com isso no aumento do potencial erosivo. Nesse sentido, pode-se destacar a declividade do terreno como um importante condicionante para o aparecimento de voçorocas.

Para Villela e Mattos (1975), a declividade dos terrenos de uma bacia controla em boa parte a velocidade com que se dá o escoamento superficial, afetando, portanto, o tempo que leva a água da chuva para concentrar-se nos leitos fluviais que constituem a rede de drenagens das bacias.

A declividade constitui-se na variação de altitude entre dois pontos no terreno. Ela pode controlar a velocidade com que se dá o escoamento superficial, o que afeta o tempo que leva a água para concentrar-se nos leitos fluviais que formam o sistema de drenagem. Além disso, fatores como as enchentes, a capacidade de infiltração e a suscetibilidade à erosão dos solos estão ligados à capacidade de escoamento, que também tem influência da cobertura vegetal, dos tipos de solo, das características climáticas e da rede de drenagem.

1.2.9. Uso da terra

Conciani (2008) afirma que a cobertura do solo tem duas funções principais no processo erosivo: manter o solo úmido e diminuir a ação das forças de destacamento. Cita que o solo úmido diminui a sucção e, portanto, este será mais resistente à erosão eólica e hídrica. Sem o contato direto com o solo, o agente de destacamento das partículas tem ação limitada.

Foram elaborados dois mapas do uso da terra: um com informações referentes ao ano de 1985, tendo como base cartográfica a imagem *LANDSAT 5TM* de 16/07/1985; e outro com dados de 2011. Tais informações foram obtidas a fim de se observar o uso da terra em períodos diferentes e na intenção de relacionar a cobertura do solo com o processo de voçorocamento.

1.3. Morfometria da bacia

Para Christofolletti (1980), estudos relacionados às redes de drenagem têm um papel fundamental nas pesquisas geomorfológicas, fato que se justifica pela dinâmica do sistema de drenagem na esculturação da superfície terrestre. Assim:

A análise morfométrica é utilizada para caracterizar quantitativamente uma bacia hidrográfica através de variáveis numéricas que podem ser obtidas diretamente de um mapa topográfico (RENNÓ e SOARES, 2003, p.24).

A dinâmica dos fluxos superficiais contribui com os mecanismos erosivos, e estes são resultado também da interação de fatores ambientais na superfície. Portanto, na intenção de se obter dados quantitativos para diferenciar as áreas da bacia hidrográfica, utiliza-se o método de análise morfométrica, que consiste em compreender as inter-relações entre os fatores que participam do modelado da superfície terrestre.

De acordo com Christofolletti (1980), a análise morfométrica de bacias hidrográficas pode ser realizada considerando-se quatro itens: a hierarquização da rede de drenagem, que consiste no processo de classificar os cursos d'água; a análise areal da bacia, que engloba os índices que utilizam medições planimétricas e medições lineares; a análise linear, que compreende as medições efetuadas ao longo das linhas de escoamento; e a análise hipsométrica, que compreende a análise das variações altimétricas na bacia.

Para a caracterização física da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Vai-Vem, utilizou-se a análise morfométrica baseada nos quatro níveis de acordo com a proposta de Christofolletti (1980). A análise teve início pela ordenação dos canais fluviais e posteriormente pela análise dos aspectos geométricos: área da bacia, coeficiente de compactidade (K_c), coeficiente de forma (K_f), índice de circularidade (I_c), padrão de drenagem, características da rede de drenagem (densidade de drenagem, ordem dos cursos d'água, comprimento do curso principal e comprimento total dos cursos d'água e análise hipsométrica).

1.4. Setorização da bacia hidrográfica

Tal procedimento foi adotado a fim de melhor analisar e caracterizar a área da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Vai-Vem, uma vez observada a diferença quanto ao arranjo do sistema de drenagem. Para a setorização, foram observados os critérios hidrográficos,

hipsométricos e de declividade, permitindo identificar as diferenças quanto à assimetria no arranjo espacial da rede de drenagem.

Com esse procedimento, foi possível uma descrição dos fatores que podem ser observados na configuração do sistema de drenagem apresentado na bacia hidrográfica em questão. Para tanto, foram utilizados dados considerando-se as informações do mapeamento geológico-geotécnico apresentadas no Projeto Bacia Hidrográfica do Ribeirão Vai -Vem (CUNHA et al., 2009). Além dos mapas hipsométricos, planialtimétrico, de direção de fluxo e de relevo sombreado (anexo), a caracterização da bacia foi dividida em três seções: A, B e C.

1.5. Modelo de suscetibilidade ao voçorocamento

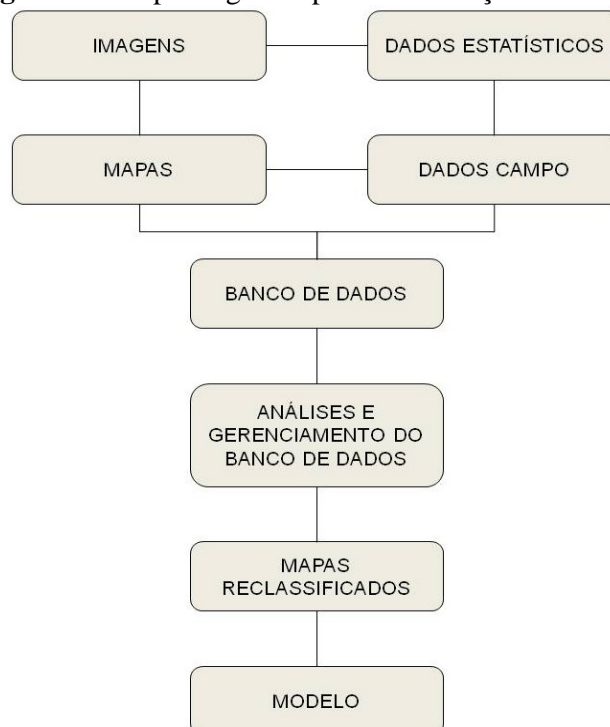
Rennó e Soares (2003) consideram um modelo como uma representação simplificada da realidade que auxilia no entendimento dos processos que envolvem essa realidade, portanto, os modelos são cada vez mais utilizados em estudos ambientais, uma vez que ajudam a entender o impacto das mudanças no uso e na cobertura da terra e a prever alterações futuras nos ecossistemas.

Considerando a modelagem como uma representação da realidade, Filho (2000) acrescenta que “a arte de modelagem consiste em decompor o mundo real em uma série de sistemas simplificados para alcançar uma visão sobre as características essenciais de certo domínio”.

Ainda de acordo com o autor, atualmente, com a implementação do SIG no processo de estruturação do modelo, este pode passar por diferentes níveis de abstração, em que a realidade pode ser traduzida para modelos até a sua solução com o potencial de análise dessa ferramenta, uma vez que incorpora conceitos fundamentais do espaço geográfico e também possibilita diferentes criações.

No caso do modelo em questão, com o uso do geoprocessamento, os dados são considerados contínuos, apresentados pelo formato *raster*, voltados para a representação do contínuo espacial. Com uso do SIG e do geoprocessamento para a estruturação do modelo, foram seguidas as seguintes etapas:

Figura 2 – Etapas seguidas para a elaboração do modelo



Fonte: Rocha (2011)

Para Filho (2000), atualmente é possível utilizar os mapas digitais em análise de interações espaciais e assim manipular qualitativamente os dados cartográficos, aplicando técnicas matemáticas e estatísticas. O modelo cartográfico pode ser simplificado em uma coleção de mapas pertencentes a uma área comum e a operações entre seus elementos. Esse modelo de camadas (*overlays*) pode ser visualizado através de um conjunto de matrizes de um registro comum (*raster*) em que cada camada de informação representa uma variável espacial descrevendo um aspecto da realidade.

O modelo de suscetibilidade apresentado nesta pesquisa foi desenvolvido usando *software* ArcGIS 9.2.

2. CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO

2.1. Geologia regional

A área da pesquisa encontra-se inserida sobre rochas pré-cambrianas do Grupo Araxá. De acordo com Barbosa (1955), a Formação Araxá no planalto araxaense é a unidade mais antiga de um complexo pré-cambriano constituído de micaxistos, xistos verdes, migmatitos e, a mais nova, denominada Formação Canastra, separada por provável discordância angular, enquadrando os filitos e quartzitos.

Após essa definição surgiram outras descrições, demonstrando que tal formação não é homogênea. Assim, Barbosa (1963) considerou a série Araxá como um conjunto de pelitos, arenitos e calcários com predominância do primeiro, prováveis representantes de um ambiente miogeossinclinal, dobrados e metamorfizados até um grau de início de migmatização. Barbosa (1969) subdividiu o Grupo Araxá em unidades A e B, sendo que a primeira constaria essencialmente de quartzitos e micaxisto com granada, turmalina e rochas feldspáticas, e a segunda de lentes de calcários micáceos marmorizados com intercalações de quartzitos.

Braum (1970 apud KLEIN, 2008), ao estudar a região de Ipameri, subdividiu o Grupo Araxá em quatro unidades, sendo que a unidade inferior constitui-se principalmente de xisto com intercalações de quartzitos maciços e gnaisses que graduam para ortoquartzitos, e quartzitos micáceos com intercalações de muscovita-biotita xisto. O nível seguinte constitui a unidade chave e compreende micaxistos com granadas que, com o aumento do plagioclásio, podem assumir estrutura gnáissica. Em sua parte superior intercalam-se xistos verdes, finos leitos de quartzitos e mármore.

O topo da sequência é caracterizado por quartzitos, quartzo filitos, xistos muscovíticos finos, às vezes ligeiramente hematíticos ou grafitosos, considerados como sendo as rochas

representativas do Grupo Canastra, sendo que Braun e Batista (1976) inverteram a descrição acima, correlacionando o Grupo Canastra com a sequência anteriormente considerada como sendo a base do Grupo Araxá.

Ainda de acordo com o autor, a procura de critérios que justificassem a separação litológica entre o Grupo Araxá, seu embasamento e o Grupo Canastra levaram Barbosa (1970) a usar o termo Araxá apenas para xistos e quartzitos, considerando as rochas gnáissicas como pertencentes a um complexo mais antigo.

2.2. Geomorfologia

O município de Ipameri está inscrito no âmbito da Folha SE. 22 Goiânia. A área apresenta formas de relevo pertencentes ao Planalto do Alto Tocantins-Paranaíba e ao Planalto Rebaixado de Goiânia.

O Planalto do Alto Tocantins-Paranaíba está representado na porção leste da folha SE. 22, sendo constituído por relevo dobrado, alinhado preferencialmente na direção N5-10E, esculpido sobre rochas da Sequência Metavulcanossedimentar Rio Veríssimo (CUNHA et al., 2009).

Ainda segundo os autores, o Planalto Rebaixado de Goiânia é representado por formas aplainadas entalhadas pelo sistema hidrográfico da área, sendo também composto pelo Ribeirão Vai-Vem, que após receber vários tributários deságua na margem direita do Rio Veríssimo que, por sua vez deságua no Rio Paranaíba, o qual, juntamente com o Rio Grande, constitui um dos tributários do Rio Paraná.

Batistela (2008) afirma que o Planalto Rebaixado de Goiânia é caracterizado por extensos interflúvios aplainados, chapadas de topo tabular e ondulações suaves, com áreas dissecadas e relevos residuais. Apresenta altitudes entre 720 e 900m, a litologia predominante

é formada por micaxistos e quartzitos do Grupo Araxá, apresentando também coberturas de latossolos vermelhos e amarelos, localmente com concreções lateríticas.

2.3. Vegetação natural

O município de Ipameri é recoberto pelo cerrado, definido por Ferreira (2003) como sendo uma savana tropical constituída por vegetações rasteiras, arbustivas e árvores, formado, principalmente, por gramíneas coexistentes com árvores e arbustos esparsos, ou seja, englobando os aspectos florísticos e fisionômicos da vegetação, sobre um solo ácido e relevo suave ondulado, recortado por uma intensa malha hídrica.

Ainda segundo o autor, a descrição quanto à fisionomia do cerrado mais próxima do consenso é aquela que apresenta uma descrição deste bioma dividida em três formações e subdividida em onze tipos fitofisionômicos gerais, assim:

- ✓ Formações Florestais: Mata Ciliar, Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão.
- ✓ Savânicas: Cerrado sentido restrito, Parque de Cerrado, Palmeiral e Vereda.
- ✓ Campestres: Campo Sujo, Campo Rupestre e Campo Limpo.

Entretanto, o autor acima prefere o uso do termo “formações típicas de cerrado” ao termo “savânicas”, uma vez que as características paisagísticas e biogeográficas do cerrado brasileiro são típicas, particularizadas pelas relações edáficas e pela imposição climática regional, tornando-se diferentes das características das savanas africanas ou de outras formações assemelhadas.

2.4. Uso da terra

A região de cerrado abrange uma grande área do país, porém atualmente esse bioma está sendo substituído pelas atividades agropecuárias. Segundo Mendes (2008), a forma de intervenção com resultados mais impactantes nas áreas de cerrado foram a formação de pastagens plantadas e a lavoura comercial. Atualmente, a ênfase da economia goiana é na produção de grãos e nas atividades ligadas à criação de gado, que ocupam lugar de destaque no contexto nacional.

Nesse sentido, o cerrado sofreu uma forte valorização nos últimos anos e, sendo assim, passou a ocupar papel de destaque na atividade econômica da região. Verifica-se que, enquanto a economia do estado experimentou um incremento considerável nos últimos decênios, os recursos ambientais sofreram, paralelamente, um forte processo de degradação, tomando-se como base a vegetação que, nesse caso, teve intensos domínios territoriais incorporados à atividade produtiva, sofrendo, como consequência, um intenso grau de alteração.

O município de Ipameri - GO não está fora desses dados, na medida em que tem destaque na atividade agropecuária no estado de Goiás. Grande extensão da área da bacia atualmente apresenta sua vegetação natural substituída pelas grandes lavouras e pastagens.

Esses fatores de ocupação estão ligados a motivos econômicos, por se tratarem de terras mais baratas devido aos incentivos governamentais e à proximidade com o mercado consumidor, além dos fatores naturais, como a disponibilidade de recursos hídricos e a facilidade para o uso de máquinas agrícolas, já que existem grandes extensões de áreas mais planas. Tais fatores contribuem para o surgimento de problemas ambientais, com graves prejuízos à fauna e à flora.

É importante considerar a cobertura do solo na prevenção e controle de erosão, nesse sentido,

O fator cobertura do solo é de grande importância na prevenção e controle da erosão e dos agravamentos do processo erosivo. Este fator exerce influência sob várias formas. A primeira a ser considerada é a proteção sobre o solo. Sob condições naturais, as copas das árvores, a vegetação de sub-bosque e, principalmente, a serrapilheira de uma floresta fazem o papel de amortecedores da energia cinética contida na gota d'água da chuva, impedindo o contato direto entre a gota d'água e as partículas do solo e evitando o primeiro passo do processo erosivo, que é a erosão por embate ou salpicamento (SILVA et al., 2003, p.21).

A falta da cobertura vegetal é percebida logo no primeiro estágio do processo erosivo. Porém, o autor acrescenta que, conforme o tipo de cobertura sobre o solo, a efetividade de proteção deste será maior ou menor, sendo que alguns desses tipos favorecem mais o processo de infiltração da água no solo e outros o impermeabilizam totalmente. Além disso, diferentes fatores naturais ou antrópicos podem atuar no processo de erosão do solo de diferentes formas, observando o modo de interação de outros fatores.

Bigarella (2003) afirma que a infiltração constitui-se no processo em que a água penetra no solo, sendo controlada por fatores como as características do evento chuvoso, a estrutura do solo, a declividade, o tipo de cultivo agrícola e a vegetação. Esse processo pode ser reduzido pelo uso de maquinários agrícolas e pela selagem da superfície provocada pelo salpicamento resultante da ação da água da chuva, fragmentando os agregados do solo. Assim, “considera o processo de infiltração de grande importância, pois sua taxa ou velocidade muitas vezes determina o deflúvio superficial (*runoff*) responsável pela erosão pluvial”.

Considera-se que o uso do solo é um fator relevante no processo de origem e evolução dos processos erosivos, visto que, facilitando a infiltração, contribui-se para a ação do fluxo subsuperficial, que associado a outros fatores pode levar à formação de *pipings* e, com o uso da terra pelas atividades agrícolas, facilita-se a formação de um fluxo concentrado que, ao escoar pela vertente, pode iniciar o processo de ravinamento.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DE LITERATURA

3.1. A bacia hidrográfica como unidade de estudo

Estudos relacionados com bacias hidrográficas e suas redes de drenagem sempre mereceram atenção da Geomorfologia por terem papel fundamental na modelação da superfície terrestre (PINTO JÚNIOR; ROSSETE, 2005).

Nesse sentido, a adoção de bacias hidrográficas como uma unidade física de estudo é uma proposta constante nas pesquisas sobre diferentes temas. Fato esse que se justifica por serem unidades naturais de análise da superfície terrestre em que é possível reconhecer e estudar as inter-relações existentes entre os diversos elementos da paisagem e os processos que atuam na sua esculturação (BOTELHO, 1999).

Para Cunha (2009), as bacias hidrográficas brasileiras refletem o complexo quadro natural que engloba o país. O autor cita que a primeira classificação das bacias hidrográficas baseou-se na navegabilidade dos rios e na situação geográfica em 1867, tendo sido realizada por Moraes em 1894.

Essa área constitui-se numa unidade natural que drena água, sedimentos e materiais dissolvidos para o exutório; com isso, identifica-se a água como elemento integrador representado pelos leitos fluviais ou canais de drenagem (COELHO NETTO, 1995; ROSS, 2003).

Silveira (2009) caracteriza bacia hidrográfica como uma área de captação natural da água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório. Compõe-se basicamente de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar num único exutório.

Ruffino e Santos (2002) relatam que o conceito de bacia hidrográfica vem sendo utilizado em políticas e legislações internacionais como uma unidade de gestão e política ambiental terrestre. Em termos de legislação, os autores destacam que se criou após anos de experiência em níveis estaduais a Política Nacional de Recursos Hídricos, através da Lei 9.433, de 08 de janeiro de 1997.

Essa ferramenta institucional federal se presta a dois propósitos distintos: primeiro, baliza planejamento e ações humanas relativas aos recursos hídricos, possibilitando a médio/longo prazo a pesquisa mais adequada de estruturas de conhecimento (entende-se por conhecimento o técnico, o científico e o político) desses sistemas ambientais; segundo, apresenta a bacia hidrográfica como unidade básica de conhecimento, delimitação, planejamento e manejo.

Portanto, é uma unidade física que engloba diferentes componentes naturais, que são: vertentes, topos ou cristas, fundos de vales, canais e corpos de água subterrânea. A bacia de drenagem pode desenvolver-se em diferentes tamanhos, que se articulam a partir dos divisores de drenagem principais, drenando em direção a um canal de um eixo-tronco ou coletor principal, constituindo um sistema hierarquicamente organizado (CUNHA; GUERRA, 1998).

É importante destacar que “a drenagem fluvial é composta por um conjunto de canais de escoamento inter-relacionados que formam a bacia de drenagem, definida como a área drenada por um rio ou por um sistema fluvial” (CHRISTOFOLETTI, 1980, p.102).

E ainda de acordo com Cunha e Guerra (1998), baseado em Chorley (1962), as bacias hidrográficas ou de drenagem podem ser desmembradas em um número determinado de sub-bacias de drenagem, dependendo da sua foz.

Já Leopold, Wolman e Miller (1995), definem bacia hidrográfica como uma unidade limitada em que elementos climáticos podem ser analisados e características do relevo

descritas. Trata-se de um sistema no qual o equilíbrio pode ser atingido em termos de entrada e saída de umidade e energia.

Nesse sentido, Silveira (2009) acrescenta que uma bacia hidrográfica pode ser considerada um sistema físico em que a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume de água escoado pelo exutório, considerando as perdas intermediárias os volumes evaporados e transpirados e também infiltrados.

Porém, devem ser considerados também os “ganhos intermediários”, uma vez que ocorre na bacia a contribuição do escoamento subsuperficial que atinge os fluxos d’água.

Para Gregory e Walling (1973), considerando Chorley (1962), a bacia de drenagem é um exemplo de sistema em Geomorfologia, já que o sistema é considerado como uma rede de parâmetros juntamente com as relações entre estes e seus atributos. E assim, define como sistema fechado aquele que possui os seus limites definidos, através do qual não importa ou exporta energia.

Já o sistema aberto surge a partir dos fatos que contribuem nas relações entre formas e processos e na variação dos fenômenos geomórficos no ambiente físico total, incluindo a influência do homem. Dessa forma, consideramos a bacia hidrográfica como um sistema aberto.

Coelho Netto (1995), com base em Chorley (1962), afirma que enquanto unidade hidrogeomorfológica, a bacia hidrográfica constitui um exemplo típico de sistema aberto, na medida em que recebe impulsos energéticos das forças climáticas atuantes sobre sua área e das forças tectônicas subjacentes, e perde energia por meio da água, dos sedimentos e dos solúveis exportados pela bacia em seu ponto de saída. A organização interna do sistema bacia de drenagem, isto é, os elementos de forma e os processos característicos influenciam as relações de entrada e saída.

Silveira (2009) observa que a bacia hidrográfica revela-se como uma unidade conveniente ao entendimento da ação dos processos hidrológicos e geomorfológicos e das ligações espaciais entre áreas distintas que podem afetar tanto o planejamento local como o regional.

Ainda segundo o autor, a precipitação sobre a vertente propicia a infiltração nos solos até haver saturação destes. Esse processo de infiltração, ao ser reduzido, origina o processo de escoamento superficial.

Descreve ainda que a água que escoar nas vertentes tem como destino a rede de drenagem, que se encarrega de transportá-la até a foz. E conclui que a mesma caracterização da vertente como fonte produtora e da rede de drenagem como transportadora podem ser usadas com respeito aos sedimentos. As vertentes produzem os sedimentos pelo processo de erosão e estes são transportados com a água pela rede de drenagem junto com a carga significativa de sedimentos produzidos nos próprios leitos dos rios.

Castro (1992) define bacia hidrográfica como uma área drenada por um rio e seus tributários. Uma sub-bacia é reconhecida como a área de captação estabelecida a partir de um tributário. A definição precisa da unidade de investigação é uma função da escala do projeto e dos níveis de generalização adotados.

Em Beltrame (1994), a área da bacia hidrográfica pode ser dividida em setores menores, a fim de definir o setor mais degradado e que, portanto, deve ter prioridade na iniciação dos trabalhos práticos do planejamento conservacionista. Esses setores menores ou unidades de planejamento devem ser delimitados conforme critérios hidrográficos, ou seja, de acordo com a linha do divisor de águas, setorizando, assim, a bacia em sub-bacias, por exemplo.

Castro (1992) relata que alguns autores consideram a unidade ambiental como um segmento espacial definido segundo características estruturais intrínsecas ao ambiente de investigação. A observação prioritária de vetores físicos deve-se à relativa estabilidade

temporal desses atributos, que são definidos em seu conjunto como arcabouço estrutural relativamente constante e não sujeito a modificações expressivas em curtos intervalos de tempo. Essa estratégia considera a forma implícita e a inter-relação de processos funcionais com as características morfofisionômicas e fisiográficas do ambiente.

Portanto, a determinação da bacia hidrográfica como uma unidade de análise é importante, haja vista que as características biogeofísicas dessas áreas podem apresentar sistemas ecológicos e hidrológicos relativamente coesos (LORANDI; CANÇADO, 2002).

Assim, considerando os conceitos ora discutidos, e em observação ao tema da pesquisa, a bacia hidrográfica, em função de suas características naturais, foi determinada como unidade de estudo, uma vez que representa uma área delimitada onde é possível observar as inter-relações entre os diferentes elementos que compõem a paisagem e os processos que ocorrem na área que resultam na esculturação do relevo.

Trata-se de uma unidade física em que através da investigação é possível compreender a “ação dos processos hidrológicos e geomorfológicos” (SILVEIRA, 2009) que afetam o desencadeamento de processos erosivos.

Nesse sentido, com a realização da análise morfométrica como uma ferramenta fundamental para a compreensão de diferentes dados relacionados à dinâmica local, foram pontuados parâmetros físicos que indicam a forma e os processos ocorridos na área, entendendo, portanto, as suas inter-relações.

3.1.1. Declividade

Silva, Schulz e Camargo (2003), ao analisarem a declividade de uma encosta, verificaram que geralmente a variação do perfil longitudinal não é uniforme. Ao se considerar três setores de declividade em um perfil, sendo um na parte baixa, outro no trecho médio e

outro no topo da encosta, podem ocorrer situações como: os pontos dos trechos baixos apresentarem declividade baixa, os dos trechos médios declividade moderada e os dos trechos altos declividade acentuada, tendo-se perfis côncavos. Mas se os valores de declividade dos trechos forem similares entre si, tem-se, portanto, um perfil longitudinal próximo ao retilíneo.

Em Valeriano (2003), os dados topográficos são importantes fontes de variáveis e frequentemente solicitados nas análises ambientais aplicadas a bacias hidrográficas. São estudos voltados à caracterização de unidades geomorfológicas com base em variáveis morfológicas estreitamente ligadas a feições geométricas da superfície sob análise, como é o caso de bacias hidrográficas em que predomina o enfoque no problema da erosão em seus múltiplos aspectos, como citado pelo autor.

As encostas variam bastante na forma, no comprimento e na declividade de um local para outro e, algumas vezes, podem variar muito num mesmo local. Essas variações se devem a diferenças litológicas, pedológicas, geomorfológicas e climáticas (GUERRA, 2011).

Segundo Valeriano (2008), devido à sua estreita associação com processos de transporte gravitacional (escoamento, erosão, deslizamento), a declividade do terreno é uma variável básica para a segmentação de áreas em praticamente todos os procedimentos de planejamento territorial.

Ainda de acordo com o autor, a primeira derivação da superfície é um vetor com duas componentes: a declividade e o aspecto. A segunda derivada representa a curvatura da superfície, usualmente expressa em curvatura vertical (na direção da declividade) e curvatura horizontal (ao longo da curva de nível). Esta se refere ao caráter divergente/convergente dos fluxos de matéria sobre o terreno quando analisado em projeção horizontal.

As variáveis topográficas apresentam importante papel, não só quando inseridas no contexto de sensoriamento remoto e geoprocessamento, conforme aponta Valeriano (2003), mas também quando realizados estudos da compartimentação das formas de relevo,

consideradas necessárias para a estratificação de procedimentos de análise dos modelos digitais. Essa compartimentação da topografia aponta a curvatura vertical das vertentes como uma das variáveis de alto poder de identificação de unidades que podem apresentar certa homogeneidade no relevo, visto que se referem ao caráter convexo/côncavo do terreno quando analisado em perfil.

Para Valeriano e Carvalho Júnior (2003), a disponibilidade crescente de bases topográficas digitais, aliadas ao uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), tem impulsionado o desenvolvimento de métodos automáticos de extração de variáveis topográficas para posterior tratamento e integração em ambiente computacional, e a operação de modelos analíticos com Planos de Informação (PI) sobrepostos em SIG é feita com operações entre os chamados Modelos Digitais de Terreno (MDT).

A representação altimétrica do relevo esteve, durante algum tempo, associada aos mapas de curvas de nível e a pontos cotados ou perfis. Com a computação, vem sendo utilizada cada vez mais a representação digital do relevo. A técnica clássica de representação do relevo, utilizada pelos profissionais da mensuração, era o traçado manual de curvas de nível a partir de um levantamento topográfico ou por meios fotogramétricos, com a determinação dos valores intermediários por simples interpolação linear (BENDA, 2006).

A representação da superfície do terreno realizada com o auxílio do computador foi proposta em 1958 por Miller e Laflamme, os quais introduziram os primeiros conceitos de modelagem digital de terrenos. Para estes, um MDT é uma representação estatística da superfície contínua do terreno por um grande número de pontos selecionados com coordenadas X, Y e Z.

Assim, com a facilidade que a informática oferece para o tratamento dos dados em mensuração, surgiu, então, uma nova técnica, que permite a automatização desse procedimento. Essa técnica consiste na descrição matemática do terreno através de uma

função de interpolação, o que possibilita a visualização, a análise numérica e a modelagem dos dados em um ambiente computacional.

Atualmente, os modelos digitais para representação dos dados topográficos, denominados Modelos Digitais de Terreno (MDT), vem sendo utilizados de forma satisfatória para extração de diversas variáveis importantes que contribuem de maneira significativa nos estudos ambientais aplicados também em bacias hidrográficas (VALERIANO, 2008).

Diante das diferentes formas de representação da superfície terrestre, através de mapas e cartas, as representações digitais possuem grande importância. E, uma vez que as feições geomorfológicas são as unidades básicas do relevo e fundamentais para explicar o desenvolvimento da paisagem, os modelos digitais e os dados obtidos por sensoriamento remoto apresentam informações geomorfológicas fundamentais sobre as características da terra.

O modelo digital de terreno armazena valores de elevação em pontos que são distribuídos regularmente, a partir dos quais as características sobre a forma da superfície da terra pode ser estimada, podendo derivar destes a declividade, a orientação de vertentes, a curvatura vertical e horizontal, os divisores e talvegues, constituindo, portanto, dados importantes para estudos geomorfológicos.

É importante ressaltar que nos estudos geomorfológicos, sobretudo os que abordam a morfodinâmica das vertentes, é fundamental num primeiro nível de abordagem a espacialização dos processos erosivos integrados às unidades geomorfológicas (BACCARO, 1999).

3.1.2. Vertentes

O relevo, como um dos componentes do meio natural, apresenta diferentes tipos e formas, sendo que essas formas, por mais que possam parecer estáticas e iguais, na realidade são dinâmicas e se manifestam ao longo do tempo e do espaço de modo diferenciado, em função das combinações e interferências múltiplas dos demais componentes geográficos (ROSS, 1990).

A compreensão das formas e dos processos naturais que ocorrem na superfície terrestre é de grande interesse dos geomorfólogos em sua análise ambiental, na medida em que o desenvolvimento das vertentes é o resultado da denudação, e o estudo dos processos que dão origem a essas formas e seus materiais constituintes tem um papel significativo na compreensão dos ambientes transformados pelo homem (VELOSO, 2002; GUERRA, 2008, 2011).

Dessa forma, o relevo é constituído por diferentes formas distribuídas no terreno, o que permite sua descrição sob diferentes variáveis quantitativas e qualitativas, considerando a forma, a origem, sua localização topográfica e as diferentes características da vertente.

Ross (1990) afirma que as inter-relações que se traduzem pela troca de energia e matéria entre os componentes são geradoras da história natural do relevo, ou seja, são responsáveis pela gênese do modelado da superfície terrestre, portanto é preciso entender a evolução de cada padrão de forma ou de tipo de vertente.

Veloso (2002) define uma vertente como um elemento da superfície terrestre; são locais onde ocorrem o intemperismo e a deposição de materiais, mencionando a ocorrência também dos processos erosivos.

A vertente é uma forma tridimensional que foi modelada pelos processos de denudação e acumulação atuantes no presente ou no passado, e representa a conexão dinâmica entre a

linha divisória das águas, constituindo elemento básico do relevo no estudo dos processos de erosão e acumulação (CHRISTOFOLETTI, 1980; FLORENZANO, 2008).

Em Casseti (1991), os desequilíbrios que se registram nas encostas ocorrem, na maioria das vezes, em função do comportamento dos elementos climáticos e de alguns aspectos das características das encostas que incluem a forma, a litologia, o grau de intemperismo, o solo e o tipo de ocupação.

Assim, os estudos da dinâmica das vertentes são essenciais não somente para uma compreensão da evolução das paisagens geográficas, de acordo com as ideias de Baccaro (1999), mas também como um meio para estabelecer o controle dos processos acelerados de erosão e de sedimentação resultantes das alterações feitas pelo homem no meio ambiente natural.

As características do relevo de uma bacia hidrográfica, segundo Villela e Mattos (1975), têm grande influência sobre os fatores hidrológicos, uma vez que a velocidade do escoamento superficial é determinada pela declividade do terreno.

Assim, Lima (2008) afirma que a declividade de uma bacia hidrográfica está relacionada com diferentes processos hidrológicos, como a infiltração, o escoamento superficial e a umidade do solo. É, também, um dos fatores principais que regulam o tempo de duração do escoamento superficial e de concentração da precipitação nos leitos dos cursos d'água. A diferença entre a elevação máxima e a elevação mínima define a chamada "amplitude altimétrica" da bacia; e ao dividir a amplitude altimétrica pelo comprimento da bacia, obtém-se uma medida do gradiente ou da declividade geral desta, o que está relacionado com o processo erosivo.

Ainda conforme o autor, apesar de os valores de declividade influir na relação entre a precipitação e o deflúvio – principalmente devido ao aumento da velocidade de escoamento superficial, o que reduz, em consequência, o processo de infiltração da água no solo –, não se

deve desprezar a influência secundária da direção geral da declividade, ou seja, da orientação da bacia. A orientação define a direção geral para a qual a declividade está exposta (a bacia de orientação norte drena para o norte). O fator orientação afeta as perdas por evapotranspiração, devido à sua influência sobre a quantidade de radiação solar recebida pela bacia, o que pode, sem dúvida, afetar as relações entre a precipitação e o deflúvio. O deflúvio de uma bacia, de acordo com Villela e Mattos (1975, p. 10):

É composto de água que atinge os álveos após ter-se escoado superficialmente, assim como também de água que chega aos cursos d'água depois de ter percorrido caminhos subsuperficiais e subterrâneos.

Para Araújo (2006), a orientação de vertentes é uma medida de ângulo horizontal da direção esperada do escoamento superficial, geralmente expressa em azimuth, em que o valor é 0° (ou 360°), crescendo dessa direção no sentido horário. Ela corresponde à direção azimutal do vetor cujo módulo é a declividade. Tomando-se uma malha de observações em uma vertente, o alinhamento de pontos em orientações próximas entre si determina as chamadas linhas de fluxo, que constituem os elementos básicos da estrutura da hidrologia superficial de uma bacia.

Em Valeriano (2003), a classificação das vertentes em relação ao perfil é analisada de acordo com seu valor de curvatura, considerando, então, vertentes retilíneas com valor de curvatura nulo, vertentes côncavas com valor positivo e vertentes convexas apresentando curvatura negativa. Porém, curvaturas nulas correspondem a retas. Portanto, as curvaturas caracterizam-se por apresentar valores positivos e negativos, dependendo da condição local, côncava ou convexa.

Para Anjos e outros (2011), a curvatura no plano e a taxa de variação da declividade na direção ortogonal e da orientação da vertente referem-se ao caráter divergente/convergente do terreno, enquanto a curvatura no perfil e a taxa da declividade na direção de sua orientação

estão relacionadas ao caráter convexo/côncavo do terreno, sendo decisivas na aceleração ou desaceleração do fluxo da água sobre este.

A medida da curvatura horizontal se baseia na mudança da orientação de vertentes em relação à distância horizontal ao longo das curvas de nível. Ela se refere ao caráter divergente/convergente do escoamento superficial (potencial) sobre o terreno quando analisado em projeção horizontal (ARAÚJO, 2006).

Essa variável está relacionada à intensidade dos processos de migração e acumulação de água, minerais e matéria orgânica no solo através da superfície, proporcionados pela gravidade. A expressão da curvatura horizontal em cartas topográficas está prontamente visível nas curvas de nível, e sua medida pode ser feita diretamente sobre estas. Em SIG, seu cálculo é baseado na comparação entre as orientações de vertente na vizinhança do ponto (pixel) medido, através de janelas móveis (VALERIANO, 2008).

Em Araújo (2006), a percepção da curvatura horizontal é feita através das direções de declive (denominadas linhas de fluxo) adjacentes. As áreas em que essas linhas estão paralelas têm curvatura horizontal nula e se diz que o terreno é planar. Áreas com linhas de fluxo indicando convergência e divergência têm curvaturas não nulas com sinais opostos. Equivalente à curvatura vertical, a curvatura horizontal pode ser expressa tanto em ângulo por distância (graus por metro) como em raio de curvatura (metros).

A curvatura vertical, de acordo com Valeriano (2008), expressa o formato da vertente quando observada em perfil. É definida com a segunda derivada da altitude, o que pode ser descrito como a variação da declividade ao longo de uma determinada distância. Traduzindo tais definições para a percepção comum, refere-se ao caráter convexo/côncavo do terreno, quando analisado em perfil.

Assim mapa de curvatura em perfil apresentado refere-se, de acordo com Valeriano (2008, p. 35), “ao formato da vertente quando observada em perfil”. Com isso, é possível

observar que essa variável está relacionada com a taxa de variação da declividade na direção da orientação da vertente.

Segundo Araújo (2006), essa variável está relacionada aos processos de migração e acumulação de água, minerais e matéria orgânica no solo através da superfície, proporcionados pela gravidade. A ação da curvatura decorre da combinação dos efeitos isolados da declividade e do comprimento da rampa. Associada à exposição de vertentes (aspecto), a curvatura vertical desempenha papel importante sobre a evapotranspiração e o decorrente balanço hídrico.

Para Valeriano (2008), a curvatura horizontal é expressa em diferença de ângulo dividida por distância horizontal, o que pode assumir diferentes unidades. Na forma explícita, pode ser expressa em graus por metro, uma vez que ângulos podem ter expressão adimensional.

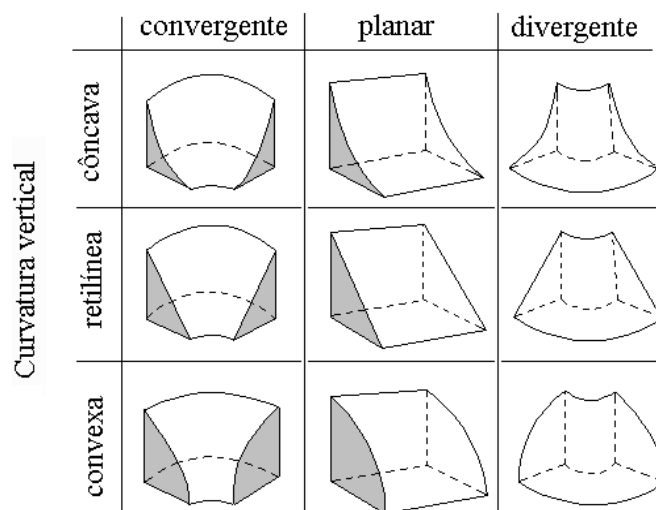
Para Araújo (2006), a curvatura vertical foi observada como um descritor de terreno capaz de agrupar várias bacias e interflúvios em uma área maior e de evidenciar traçados dos principais ambientes de relevo, enquanto a curvatura horizontal é um identificador fortemente local, pois é natural a mudança de convergente para divergente dentro de uma única rampa.

Assim, ainda de acordo com o autor, as curvaturas horizontais e verticais combinadas representam uma caracterização das formas do terreno, às quais se associam propriedades hidrológicas e de transporte de sólidos, diretamente, e pedológicas e ecológicas, além de uma série de outros aspectos, indiretamente.

Os casos extremos de combinações de curvatura do terreno são representados pela forma côncava-convergente (máxima concentração e acúmulo do escoamento) e pela forma convexa-divergente (máxima dispersão do escoamento). As combinações intermediárias têm características hidrológicas mais dependentes das relações entre as intensidades (módulos) dos efeitos individuais de cada componente.

Assim, acrescenta Valeriano (2008), as classes de curvaturas horizontais (convergentes, planares ou divergentes) e verticais (côncavas, retilíneas ou convexas) podem ser então combinadas para fornecer a indicação da forma do terreno (observar Figura 3).

Figura 3 - Representação da combinação das curvaturas.
Curvatura horizontal



Fonte: Adaptado por Valeriano (2008, p. 41).

Segundo Guerra e Cunha (1998) a grande importância do fator topográfico resulta da marcante influência que as formas do relevo exercem sobre o processo de erosão, pois reforçam a importância dos fatores relativos ao relevo no processo erosivo através da declividade, do comprimento de rampa e da forma de vertente influenciando diretamente na velocidade, infiltração e escoamento da água, atuando entre si e em conjunto com os fatores relativos à erosividade da chuva, bem como as propriedades do solo, promovendo maior ou menor resistência à erosão.

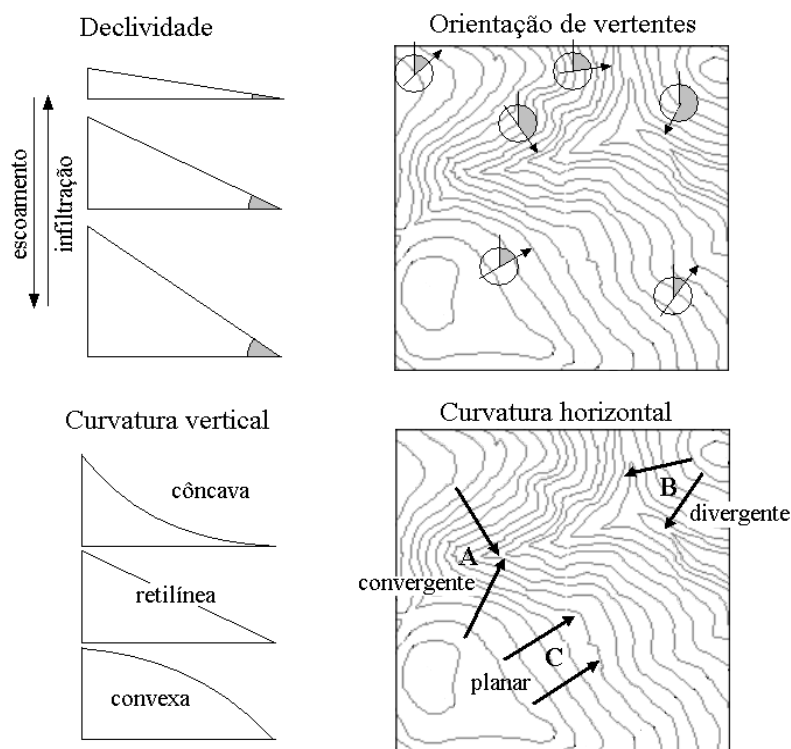
Sob o ponto de vista da curvatura no perfil, o terreno pode apresentar formas côncavas, convexas ou planas, sendo que os terrenos côncavos são aqueles em que a declividade diminui na direção do aspecto; os convexas aparecem quando a declividade aumenta na direção do

aspecto (orientação das encostas); e os terrenos planos são aqueles em que a declividade não se altera no perfil.

A curvatura plana (horizontal) expressa o formato da vertente quando observada em projeção horizontal; é uma derivada não da elevação, mas sim das curvas de nível. Assim, é descrita como a variação da orientação de vertentes ao longo de determinada distância. Essa curvatura, portanto, se traduz no caráter de divergência ou convergência das linhas de fluxos (VALERIANO, 2008).

Acrescenta ainda o autor que essa variável está relacionada com a intensidade dos processos de migração e com o acúmulo de água, minerais e matéria orgânica no solo através da superfície, proporcionados pela gravidade. Equivalente à curvatura vertical, desempenha papel importante sobre o balanço hídrico e o equilíbrio entre os processos de pedogênese e morfogênese (Figura 4).

Figura 4 - Variáveis geomorfológicas locais derivadas da altimetria.



Fonte: Valeriano (2008, p. 25).

Assim, a curvatura plana expressa a taxa de variação da declividade na direção ortogonal da orientação, influenciando a acumulação da umidade e o fluxo da água superficial e subsuperficial.

Valeriano (2008, p. 26) afirma que “é uma variável importante para compreensão de problemas urbanos ligados ao posicionamento de estruturas de drenagem e mapeamento de possíveis áreas de alagamento”. A partir da curvatura plana, um terreno pode ser caracterizado como: convergente, divergente ou reto.

Quando caracterizado como convergente, possui as direções de maior declividade em diferentes pontos do terreno que tendem a se encontrar. Terrenos divergentes são aqueles em que as direções de maior declividade em diferentes pontos tendem a separar-se. A convergência ou divergência no plano pode ser observada numa carta em que a topografia está representada por curvas de nível.

3.1.3. Morfometria fluvial

Para Christofoletti (1974), é relevante nas investigações geomorfológicas a análise da rede hidrográfica, considerando que os cursos d'água constituem processos morfogenéticos ativos na esculturação da paisagem terrestre.

Nesse sentido, Lima (2008) afirma que o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica está a cargo de suas características morfológicas, como área, forma, topografia, geologia, solo e cobertura vegetal. Portanto, para entender as inter-relações existentes entre a forma e os processos hidrológicos de uma bacia hidrográfica, torna-se necessário expressar as características da bacia em termos quantitativos.

Mora (2008) diz que primeiramente é necessária uma análise morfológica da bacia hidrográfica, para que as formas possam ser separadas, descritas quantitativamente e

comparadas de região para região. Em seguida, estuda-se a formação da bacia hidrográfica, que depende da natureza dos processos de escoamento e infiltração da água das chuvas, porque a relação infiltração/deflúvio influencia de modo determinante a ação do escavamento do vale e elucida a relação entre a rede de drenagem e a bacia por ela drenada.

Segundo Tucci (1997), as características principais da bacia hidrográfica são a área de drenagem, o comprimento do rio principal, a declividade do rio e a declividade da bacia. Assim, são dados de áreas, comprimento, declividade e medidas feitos diretamente ou expressos por índice. Essas análises são realizadas geralmente com base em informações extraídas de mapas, fotografias aéreas, imagens de satélite e pesquisas de campo.

Para Christofolletti (1980), a análise morfométrica de bacias hidrográficas inicia-se pela ordenação dos canais fluviais com a finalidade de estabelecer a hierarquia fluvial; a partir daí, processa-se a análise dos aspectos lineares, areais e hipsométricos.

Ainda de acordo com o autor, a análise morfométrica é uma análise quantitativa da configuração dos elementos do modelado superficial que geram sua expressão e configuração espacial, sendo incluído entre estes o conjunto das vertentes e canais que compõem o relevo, que tem os valores medidos correspondentes aos atributos desses elementos.

Cherem (2008) cita que esse tipo de estudo geomorfológico foi iniciado por Horton (1945) com o objetivo de entender a configuração e a evolução das bacias e de suas redes de drenagem, e que este ainda apresentou as leis da composição da drenagem, utilizadas para estudos nessa área, buscando compreender o arranjo dos elementos que compõem as bacias hidrográficas.

3.2 Características morfométricas da bacia hidrográfica

3.2.1. Área da bacia hidrográfica

Considera-se área da bacia, de acordo com Christofolletti (1980, p.102), “toda a área drenada pelo conjunto do sistema fluvial, projetada em plano horizontal”. Assim, essa área pode ser definida a partir de um dado ponto na própria saída ou confluência da bacia, devendo ser incluídos todos os pontos situados a altitudes superiores à da saída da bacia e dentro do divisor topográfico que separa duas bacias adjacentes.

Quanto ao comprimento da bacia, são obtidos diferentes valores, mediante a definição de comprimento a ser utilizado, conforme Christofolletti (1980, p.110):

- Distância média em linha reta entre a foz e determinado ponto do perímetro, que assinala a equidistância no comprimento do perímetro entre a foz e o ponto determinado. Esse ponto representa, então, a metade da distância correspondente ao comprimento total do perímetro.
- Maior distância medida, em linha reta, entre a foz e determinado ponto situado ao longo do perímetro.
- Distância medida, em linha reta, entre a foz e o ponto mais alto situado ao longo do perímetro.
- Distância medida em linha reta acompanhando paralelamente o curso principal.

3.2.2. Coeficiente de compacidade (Kc)

É a medida do grau de irregularidade da bacia quando comparado com o círculo. Para tanto, relaciona-se a forma da bacia com um círculo, isto é, constitui-se a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia.

Para Villela e Mattos (1975), esse coeficiente é um número adimensional que varia com a forma da bacia, independentemente de seu tamanho. Quanto mais irregular for a bacia, maior será o coeficiente de compacidade. Um coeficiente mínimo igual à unidade corresponde a uma bacia circular e, para uma bacia alongada, seu valor é significativamente superior a 1. Uma bacia será suscetível a enchentes mais acentuadas quando seu Kc for mais próximo da unidade.

Equação 1

$$Kc = 0,28 \times (P / A)$$

Em que:

P = perímetro em Km

A = área em Km²

3.2.3. Coeficiente de forma (Kf)

A forma superficial de uma bacia, segundo Villela e Mattos (1975, p. 14), é importante devido ao tempo de concentração, sendo definida como tempo a partir do início da precipitação, “tempo que leva a água dos limites da bacia para chegar à saída da mesma”.

Ainda de acordo com os autores, em geral as bacias hidrográficas dos grandes rios apresentam a forma de uma pera ou de um leque, mas as pequenas bacias variam muito no formato, dependendo da estrutura geológica do terreno. Existem vários índices para determinar a forma das bacias, procurando relacioná-las com formas geométricas conhecidas;

assim, o coeficiente de compacidade a relaciona com um círculo e o fator de forma com um retângulo.

Portanto, esse cálculo demonstra a relação entre a largura média e o comprimento axial da bacia (ou do rio) e relaciona a forma da bacia com a de um retângulo, como citado anteriormente, correspondendo à razão entre a largura média e o comprimento axial da bacia (da foz ao ponto mais longínquo do espigão).

Ainda segundo Villela e Mattos (1975), uma bacia com um fator de forma baixo é menos sujeita a enchentes que outra de mesmo tamanho, porém com fator de forma maior, dado pela seguinte fórmula:

Equação 2

$$Kf = A / L^2$$

Em que:

A = área da bacia, em km²

L = comprimento do rio, em km

Quando Kf for baixo, ela é menos sujeita a enchentes, isto é, deve-se ao fator que quanto mais longa (L) e estreita, menor a possibilidade de ocorrência de chuvas intensas.

3.2.4. Índice de circularidade (IC)

De acordo com Lima (2008) a forma da bacia é considerada como uma das características físicas mais difíceis de ser expressa por índices quantitativos, uma vez que pode ser influenciada por outras características da bacia, principalmente pela geologia. E pode, também, atuar sobre alguns dos processos hidrológicos ou sobre o comportamento hidrológico da bacia. Trata-se de um índice proposto por Miller (1953 apud

CHRISTOFOLETTI, 1974), definido como a relação entre a área da bacia e a área do círculo de mesmo perímetro. Neste trabalho, para calcular o índice de circularidade, utilizou-se o seguinte cálculo:

Equação 3

$$Ic = 12,57 * A / P^2$$

Em que:

A= área da bacia

P = perímetro total da bacia (km)

O valor máximo a ser obtido é igual a 1.0, e quanto maior o valor, mais próximo da forma circular estará a bacia de drenagem.

Conforme apresenta Cherem (2008) em sua pesquisa, o índice de circularidade é um parâmetro que indica que uma bacia com índice acima de 0,51 é mais circular e tem escoamento reduzido e alta probabilidade de cheias. Além dessa relação com a velocidade do fluxo de água, esse parâmetro representa a transmissividade do escoamento superficial concentrado, isto é, se o tempo de concentração da bacia é lento ou rápido.

3.2.5. Padrão de drenagem

Para Cunha e Guerra (1998), a drenagem fluvial é formada por um conjunto de canais de escoamento interligados. A área drenada por esse sistema fluvial é definida como bacia de drenagem, que depende do regime das precipitações como também das perdas por evapotranspiração e infiltração. Tem papel importante no escoamento canalizado a topografia, a cobertura vegetal, o tipo de solo, a litologia e a estrutura das rochas da bacia hidrográfica.

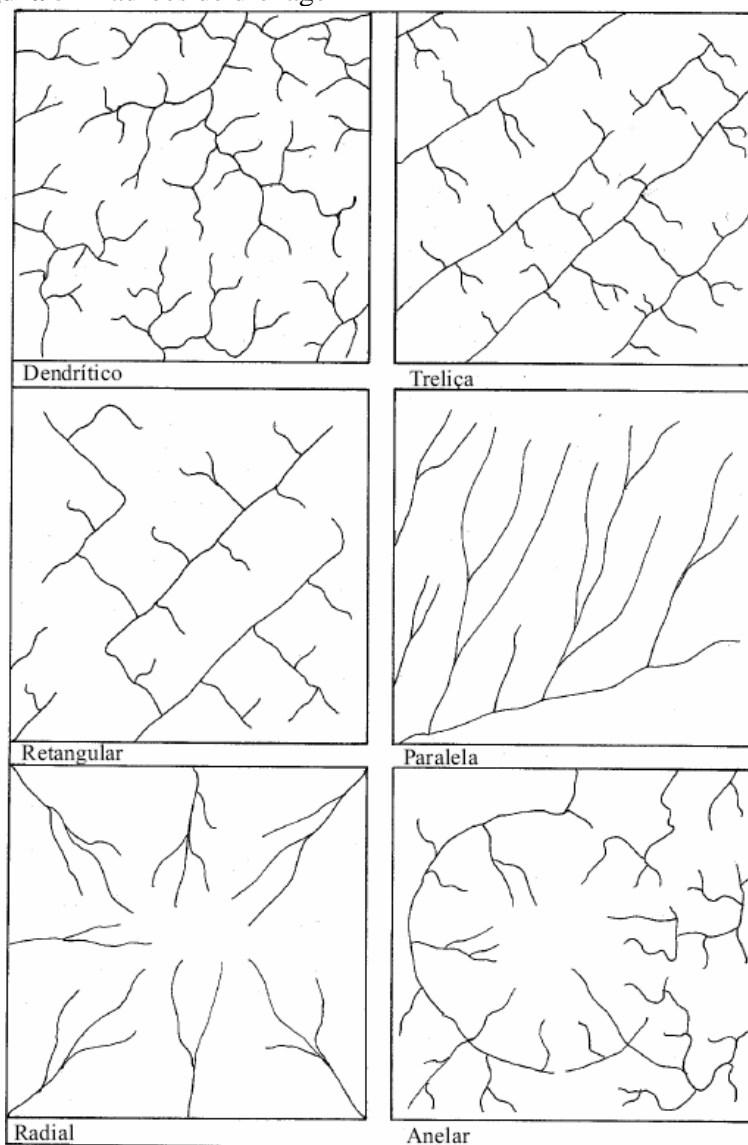
As bacias de drenagem vão exibir diferentes características, formando traçados variados no terreno, controlados pela estrutura geológica e tectônica, daí a configuração do seu padrão

de drenagem. Bigarella (1990) destaca que os diferentes padrões de drenagem definem vários esquemas de classificação dos rios e bacias com base na gênese, na geometria ou no padrão de escoamento do sistema fluvial.

De acordo com Christofolletti (1974), a drenagem fluvial é composta por um conjunto de canais de escoamento inter-relacionados que formam a bacia de drenagem, definida como a área drenada por determinado rio ou por um sistema fluvial. A quantidade de água que atinge os cursos fluviais está na dependência do tamanho da área ocupada pela bacia, da precipitação total e de seu regime e das perdas devidas à evapotranspiração e à infiltração. As bacias de drenagem podem ser classificadas, de acordo com o escoamento global, em:

- ✓ **Exorreicas:** quando as bacias deságuam diretamente no mar.
- ✓ **Endorreicas:** quando as drenagens são internas e não possuem escoamento até o mar, desembocando em lagos ou dissipando-se nas areias do deserto ou perdendo-se nas depressões cársticas.
- ✓ **Arreicas:** quando não há qualquer estruturação em bacias, como nas áreas desérticas.
- ✓ **Criptorreicas:** quando as bacias são subterrâneas, como nas áreas cársticas.

Ainda de acordo com o autor, os padrões de drenagem referem-se ao arranjo espacial dos cursos fluviais, que podem ser influenciados em sua atividade morfogenética pela natureza e disposição das camadas rochosas, pelas diferenças de declividade e pela evolução geomorfológica da região. Os diferentes sistemas de drenagem podem ser observados na Figura 5.

Figura 5 - Padrões de drenagem

Fonte: Christofolletti (1974, p. 104).

3.2.6. Densidade de drenagem

A densidade de drenagem correlaciona o comprimento total dos canais de escoamento com a área da bacia hidrográfica. Proposto inicialmente por Horton (1945 apud CHRISTOFOLETTI, 1980, p. 11), calcula-se pela seguinte equação:

Equação 4

$$Dd = Lt / A$$

Em que:

Dd = densidade de drenagem

Lt = comprimento total dos canais

A = área da bacia (km²)

Para Lima (2008), a densidade de drenagem depende do clima e das características físicas da bacia hidrográfica, uma vez que o clima atua tanto diretamente (regime e vazão dos cursos), como indiretamente (influência sobre a vegetação). É importante citar que as características da rocha e do solo desempenham papel fundamental, pois determinam a maior ou menor resistência à erosão.

Em geral, segundo o autor supracitado, uma bacia em que a geologia é dominada por argilitos apresenta alta densidade de drenagem, enquanto outra, com substrato predominante de arenitos, baixa densidade de drenagem. Mas os valores baixos de densidade de drenagem estão geralmente associados a regiões de rochas permeáveis e de regime pluviométrico caracterizado por chuvas de baixa intensidade.

3.3. Ordem dos cursos de água

Com a análise das características morfométricas procura-se entender a relação solo-superfície, devido à presença de processos erosivos sobre estruturas e litologias variadas (PISSARA; POLITANO; FERRAUDO, 2004).

Essas características morfométricas do padrão de drenagem e do relevo refletem algumas propriedades do terreno, como infiltração, por exemplo, que expressam estreita relação com a litologia, a estrutura geológica e a formação superficial dos elementos que

compõem a superfície terrestre, ressaltando que tais características do padrão de drenagem repercutem no comportamento hidrológico e litológico de cada unidade do solo.

Silveira (2009) cita que Horton (1945) foi quem propôs os critérios iniciais para a ordenação dos canais de água. Nessa proposta, o rio principal é consignado pelo mesmo número de ordem desde a sua nascente. Para Horton (1945), os canais de primeira ordem são aqueles que não possuem tributários, os de segunda ordem têm apenas afluentes de primeira ordem e os de terceira ordem recebem afluência de canais de segunda ordem, podendo também receber diretamente dos de primeira ordem sucessivamente, o que implica atribuir a maior ordem ao rio principal, valendo essa designação em todo o seu comprimento, desde o exutório da bacia até sua nascente.

Porém, embora muitos pesquisadores tenham seguido essa ordem de classificação dos canais, outros adotaram o sistema proposto por Strahler em 1952, em que o sistema de hierarquização de canais é feito da seguinte forma: sem tributários, é adotada a primeira ordem; os canais de segunda ordem são aqueles que recebem somente tributários de primeira ordem, independentemente do número de tributários; os de terceira ordem são aqueles que recebem dois ou mais tributários de segunda ordem, podendo também receber tributários de primeira ordem, e assim sucessivamente. O sistema acima descrito elimina o conceito de que o rio principal deve ter o mesmo número de ordem em toda a sua extensão e a necessidade de se refazer a numeração a cada confluência (CHRISTOFOLETTI, 1980).

3.3.1. Comprimento do curso d'água principal

Esse índice constitui o comprimento do curso d'água principal (L), medido desde a nascente até a foz. É determinado por meio da reclassificação do mapa de hidrografia, que resultou na hierarquização dos cursos d'água em ordens específicas, sendo que esse valor é

representado pela distância que se estende ao longo do curso d'água, desde a foz até a cabeceira.

3.3.2. Comprimento total dos cursos d'água

O comprimento total dos cursos d'água (Lt) é a medida desde a nascente até a foz de cada tributário, incluindo o curso principal. O comprimento total dos cursos d'água foi determinado por meio da reclassificação do mapa de hidrografia, que resultou na hierarquização dos cursos d'água em ordens específicas. Posteriormente, determinou-se o comprimento total dos cursos d'água baseado no somatório das diagonais de suas células.

3.4. Processo de formação das voçorocas

Frente à presença de voçorocas na bacia do Ribeirão Vai-Vem, e na busca de compreender os fatores que estão na origem do desenvolvimento desses processos, esta pesquisa faz uma abordagem sobre os parâmetros da topografia de vertentes. Segundo Stabile e Vieira (2008), é de grande importância analisar quanto cada parâmetro da topografia de uma vertente influi na distribuição dos fluxos hídricos e consequentemente na distribuição dos focos erosivos.

É também de grande valor para o desenvolvimento destes estudos fazer uma análise da forma e do declive das vertentes, uma vez que os parâmetros topográficos são fatores que devem ser ponderados em qualquer ação humana no meio, atenuando assim os impactos consequentes dessas ações.

Veloso (2002) diz que o estudo das encostas e dos processos que nelas ocorrem requer uma descrição precisa, feita com referência ao seu perfil. Define ainda que o perfil da vertente é uma linha traçada sobre o terreno descrevendo sua inclinação, expressa por um ângulo

constante chamado de retilinear. As vertentes curvas podem ser convexas ou côncavas de acordo com a direção da curvatura, e não podem ser descritas por um simples ângulo, mas pelo grau de curvatura do segmento.

É importante ressaltar que, considerando os dados topográficos, a declividade possui grande valor para estudos relacionados com a origem e o desenvolvimento dos processos erosivos.

Valeriano (2008, p. 26) afirma que “a declividade do terreno é uma variável básica para a segmentação de áreas em praticamente todos os procedimentos de planejamento territorial e interpretação geomorfológica”.

A erosão do solo é um processo complexo em que muitos fatores exercem influência, de forma e magnitude variável, conforme o local de ocorrência (SILVA; SCHULZ; CAMARGO, 2004). As voçorocas são classificadas conforme a sua gênese, visto que os processos erosivos podem ser de origem natural (geológica) ou acelerada (antrópica).

Para Bigarella (2003, p. 890), “a erosão inicia quando a força do fluxo excede a resistência do solo”, sendo que essa força é função do impacto das gotas da chuva, da declividade da vertente, da quantidade e velocidade do fluxo e do comprimento da vertente, podendo aqui também ser levados em conta o tamanho e a coesão das partículas.

A erosão do solo pela água ocorre através de dois processos, representados pela liberação e pelo transporte de partículas. Esses processos estão associados ao *splash* do solo pelas gotas de chuva e pelo escoamento superficial, causando então a erosão hídrica.

Segundo Bigarella (2003, p. 884), a erosão hídrica inicia:

Quando a água atinge o solo na superfície, desagregando-o e com isso facilitando o transporte das partículas menores. A ação da água não acontece só na superfície como também em subsuperfície numa determinada porção do perfil, afetando uma massa de material inconsolidado.

Os processos erosivos causados pela chuva afetam diferentes lugares no mundo em que há totais pluviométricos mais elevados, sendo mais alarmantes em lugares em que há concentração em determinadas estações do ano, atingindo principalmente áreas com solos expostos (GUERRA, 2009).

Guerra e Cunha (2008) afirmam que a precipitação representa o principal elemento climático altamente relacionado com os desequilíbrios que se registram na paisagem das encostas. Ressalta ainda que a variação espacial da intensidade das precipitações associada à concentração em alguns meses do ano é um dos fatores primordiais a serem avaliados em situações críticas.

Para compreender os processos erosivos a partir da ação da água no solo, é importante observar:

Quando a capacidade de infiltração fica bastante reduzida pela saturação do solo, a água acumula-se na superfície em pequenas depressões. Em seguida, origina-se uma lâmina aquosa, a qual passa a fluir após ultrapassar uma espessura crítica. No início, a energia é insuficiente para desprender e transportar partículas de solo, porém vertente abaixo sua energia aumenta atingindo um ponto onde é capaz de promover efeitos erosivos, cujo potencial é incrementado com aumento do comprimento da vertente e de sua declividade (BIGARELLA, 2003, p. 888).

Ainda de acordo com o autor, a água, ao atingir a superfície terrestre, pode escoar na superfície, em subsuperfície e subterraneamente. O predomínio e a importância relativa desses tipos de escoamento dependem da combinação de diferentes fatores, tais como: as condições climáticas, as características morfométricas, as características do solo e litológicas, as condições bióticas e edafológicas e as atividades antrópicas.

Os processos erosivos podem ser classificados em três tipos principais: erosão superficial, interna e linear, sendo essa última classificada em sulco, ravina e voçoroca, segundo seu estágio de evolução (CAMAPUM et al., 2006).

Em Silva, Schulz e Camargo (2003), a erosão hídrica pode se processar das seguintes formas:

- ✓ **Laminar:** ocorre a remoção de uma camada fina do solo que pode ser causada pela precipitação e pelo escoamento superficial.
- ✓ **Linear:** Dá-se a formação de canais de frequência e dimensões variáveis, conforme as características da chuva, do relevo e do solo, haja vista que ocorre a acumulação de água em canais estreitos por curtos períodos e a remoção de solo desses canais desde a superfície até profundidades que podem variar de 0,5 m até 25,0 m.

Para Camapum e outros (2006), a erosão laminar, sulcos, ravinas e voçorocas constituem a sequência natural de evolução dos processos erosivos, podendo o estágio de voçorocas ser atingido com uma duração muito breve das fases anteriores.

Para o DAEE (1989), a voçoroca corresponde a um estágio mais avançado e complexo de erosão, cujo poder destrutivo local é superior ao das outras formas e, portanto, de mais difícil contenção.

3.5. Definição de voçorocas e ravinas

A voçoroca é uma feição que pode ser formada através de uma passagem gradual da erosão laminar para a erosão em sulcos e ravinas mais profundas, ou então diretamente, a partir de um ponto de elevada concentração de águas pluviais (IPT, 1986). Cabe aqui uma observação quanto à questão da “elevada concentração de águas pluviais”, pois se vê que tal situação é diferenciada, já que esse acúmulo aconteceria devido a um desequilíbrio ambiental local.

Para Guerra (2009), as voçorocas são formas erosivas relativamente permanentes nas encostas, possuindo paredes laterais íngremes e, em geral, fundo chato, ocorrendo fluxo de água no seu interior.

Em Magalhães e Furtado (2001), as voçorocas apresentam-se como ovóides, coalescentes e lineares: as voçorocas ovóides têm a forma de anfiteatro de paredes íngremes a montante e um canal a jusante; nas voçorocas coalescentes, observa-se a presença de vários anfiteatros, devidos à existência de ramificações do sulco principal; as voçorocas lineares são as mais simples, constituídas por um sulco que pode terminar em um canal estreito.

Segundo Guidicini e Nieble (1984), as voçorocas se originam ao longo das linhas de drenagem superficiais, o que resulta inicialmente em ravinas no solo com seções típicas em “V”. Se as ravinas continuarem a se desenvolver, podem atingir o lençol freático, quando então passa a existir uma contribuição das águas subterrâneas no avanço erosivo.

Já para Christofolletti (2003), a evolução das ravinas acontece a partir da precipitação que excede a capacidade de infiltração, dando início ao escoamento superficial. No início, o escoamento se apresenta de forma laminar difusa que, ao assumir a forma de filetes, se encaixa na superfície pela remoção de detritos ao longo de seu fluxo, na maior inclinação da vertente. Nesses filetes, com a profundidade a água tem maior capacidade de turbulência e com isso pode transportar partículas maiores.

Os sulcos constituem, então, feições efêmeras e descontínuas que podem se desenvolver rapidamente, na medida em que o fluxo concentrado aprofunda os sulcos, que com o aumento da velocidade passam a arrancar um maior número de partículas, arrastando vertentes abaixo. A erosão torna-se mais efetiva pela ação do fluxo da água carregado de sedimentos, o qual possui maior poder erosivo ao varrer o fundo e as paredes desses pequenos sulcos, transformando-os em valas de erosão e em ravinas de maiores dimensões.

Assim, ainda de acordo com o autor supracitado, “ravina constitui um pequeno canal relativamente profundo, originado por uma corrente de água intermitente” (CHRISTOFOLETTI, 2003, p. 923).

Guerra (1999), baseado em Horton (1945), descreve que o desenvolvimento das ravinas acontece quando a precipitação excede a capacidade de infiltração do solo, iniciando o escoamento superficial. A água acumula-se na superfície até que começa a descer a encosta através de um lençol (*sheetflow*) que pode evoluir para uma ravina. Esse fluxo passa a ser linear (*flowline*), depois evolui para microrravinas (*micro-rills*) e, posteriormente, para microrravinas com cabeceiras (*headcuts*). Nessa evolução, pode ocorrer o desenvolvimento de bifurcações através de pontos de ruptura (*knickpoints*) das ravinas.

Christofoletti (2003, p. 923) destaca ainda que os diferentes estágios das ravinas devem ser observados, pois “a ravina é o ponto de partida do processo erosivo linear”.

Considerando, então, os conceitos de ravinas e voçorocas citados, optou-se por denominar ravinas como uma feição erosiva que tem a atuação do escoamento superficial como principal fator de contribuição para o seu desenvolvimento. Já a voçoroca é caracterizada como uma fase do processo erosivo em que há uma atuação concomitante do escoamento superficial e subsuperficial, sendo essas incisões de grandes profundidades, atingindo o lençol subterrâneo.

Com efeito, a definição de voçoroca engloba diferentes fenômenos que contribuem para a evolução do processo erosivo, o que implica que não se trata apenas de um processo resultante do escoamento superficial, mas também da associação de outros fatores, como a formação do escoamento subsuperficial, que contribuirá para o desencadeamento de fenômenos ligados à formação de dutos, *pipings*, solapamentos e escorregamentos.

Como a área da pesquisa apresentou voçorocas em diferentes dimensões, e para melhor analisar o comportamento desses processos na modelagem da superfície, fez-se necessário então agrupá-los conforme a sua ocorrência no terreno. Para tanto, foram diferenciadas ravinas de voçorocas, destacando que há uma conexão entre essas duas formas na constituição dos canais de primeira ordem. Não esquecendo, porém, que esses processos erosivos estão

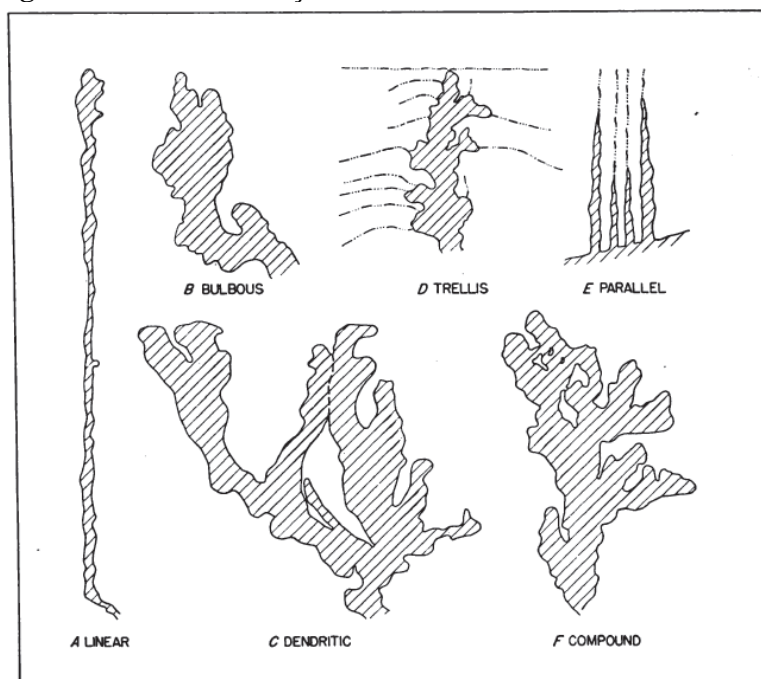
relacionados a outros condicionantes do meio físico, tais como a cobertura vegetal, o tipo de solo, a litologia, a declividade, o uso do solo e as condições climáticas.

Assim, é possível identificar voçorocas que são mais ativas e outras que estão estáveis, levando em consideração a atuação do homem no meio, uma vez que, as atividades antrópicas, podem contribuir com a evolução das voçorocas. Porém, quanto à formação desses processos, é importante a abordagem das inter-relações entre a dinâmica fluvial e de vertentes a fim de melhor caracterizá-los, pois são um processo complexo que sofre a influência de diferentes fatores que variam quanto à forma e à magnitude, considerando o local de ocorrência e os condicionantes com ênfase naquele de maior potencial.

3.6. Gênese das voçorocas

As voçorocas, caracterizadas como uma forma de erosão acelerada pode ocorrer a partir do desequilíbrio causado pelo uso inadequado do solo, em que há, por exemplo, a remoção generalizada da cobertura vegetal (BIGARELLA, 2003). Além disso, devem ser consideradas também para a formação dessas incisões erosivas profundas no relevo as linhas ou faixas estreitas determinadas pela estrutura litológica.

De acordo com as características de solo, litológicas e do sistema de drenagem, essas incisões erosivas podem assumir diferentes formas, conforme a Figura 6.

Figura 6 - Forma das voçorocas

Legenda: a- linear; b- bulbiforme; c- dendrítica; d- treliça; e- paralela; f- composta.
Fonte: Ireland et al., (1939).

De acordo com Bigarella (2003), a voçoroca forma um canal de drenagem de paredes abruptas, com fluxos efêmeros ou, eventualmente, pequenos, com erosão intensa, que termina em uma cabeceira extremamente íngreme e escarpada. As voçorocas ativas formaram-se onde as águas se concentraram pela ação do homem, e as do passado geológico originaram-se por circunstâncias naturais. Na maioria dos casos, ocorrem em vertentes constituídas por material inconsolidado, com fluxo de águas intermitentes, não existindo uma relação simples entre a vertente, a montante e a voçoroca em si.

Ainda segundo o autor, as voçorocas naturais são constituídas basicamente de quatro fases:

1. Erosão do canal e encaixamento;
2. Retrocesso da cabeceira e rápido alargamento;
3. Recomposição;
4. Estabilização

Para Fendrich (1997), há vários tipos de voçorocas, que podem ser classificadas de acordo com seus aspectos, tais como: o formato da seção transversal, o tamanho, a profundidade e o formato em planta.

Quanto ao formato, conforme o autor, essas incisões podem apresentar formato em “U” ou em “V”, dependendo das condições climáticas e do solo, da idade da voçoroca e do tipo do processo erosivo. Assim:

- ✓ Em U são encontradas em regiões onde os solos possuem características que os tornam menos resistentes ao processo erosivo. Nesse caso, as incisões erosivas possuem paredes que são quase verticais e a ampliação lateral é realizada por erosão superficial ou por descalçamento da base da parede devido à ação de água subterrânea.
- ✓ As em V são relativas aos solos mais resistentes à erosão, onde o escoamento superficial concentrado atua preponderantemente na ação da água subterrânea. É mais comum no início do processo erosivo.

É importante observar que, para além da erosão superficial, as voçorocas sofrem a atuação de outros processos condicionados pelo fato de essas formas erosivas atingirem em profundidade o lençol freático ou o nível da água de subsuperfície (IPT, 1986).

A presença do lençol freático interceptado pela voçoroca induz ao aparecimento de exurgências d'água. Esse fluxo de água do fundo e nas paredes da voçoroca pode ter uma continuidade para o interior do terreno, carreando material e formando vazios no interior do solo denominados *piping*.

Para Bigarella (2003), as voçorocas formam sistemas erosivos ramificados, distribuídos numa área de contorno elipsoidal e abrangendo extensões consideráveis, sendo estreitas na parte jusante e mais largas na porção de montante.

É preciso acrescentar que a ocorrência de dutos acontece a partir do carreamento de pequenos grãos do solo, de partículas de argila e de outros colóides, ou mesmo através da remoção dos componentes do solo por solução, ou seja, pelo processo de *piping* (AUGUSTIN; ARANHA, 2006).

De acordo com os autores, esses dutos são rotas preferenciais de escoamento subsuperficial que levam à formação de uma verdadeira rede interligada de fluxos, e o surgimento de voçorocas ocorreria com o colapso do teto dos túneis e o alargamento por escoamento superficial e por movimento de massa do canal formado.

A atuação desse mecanismo aponta o fato de que a ocorrência das voçorocas pode envolver processos mais complexos que os resultados da evolução da incisão. Portanto, o caráter permanente do canal, considerado como o elemento morfológico mais importante da forma erosiva “voçoroca”, ocorre antes mesmo da incisão por escoamento do fluxo concentrado.

Assim, é importante diferenciar voçoroca de ravina, uma vez que essa última se forma principalmente pela concentração do escoamento superficial. Nesse processo, quando há a interceptação do fluxo permanente, não se considera apenas o escoamento superficial, visto que pode acontecer uma ação concomitante com o escoamento subsuperficial, provocando o aprofundamento e alargamento do canal, e então temos a formação de uma voçoroca.

Quanto à profundidade, é possível, de acordo com Vieira (1980), fazer uma classificação. Para tanto, o autor estabelece:

Quadro 1 - Classificação da profundidade de uma voçoroca

Tamanho	Profundidade	Área drenante
Pequena	< 1 m	2 ha
Média	1 a 5 m	2 a 20 ha
Grande	> 5 m	> 20 ha

Fonte: Vieira (1980).

Org.: Rocha (2011).

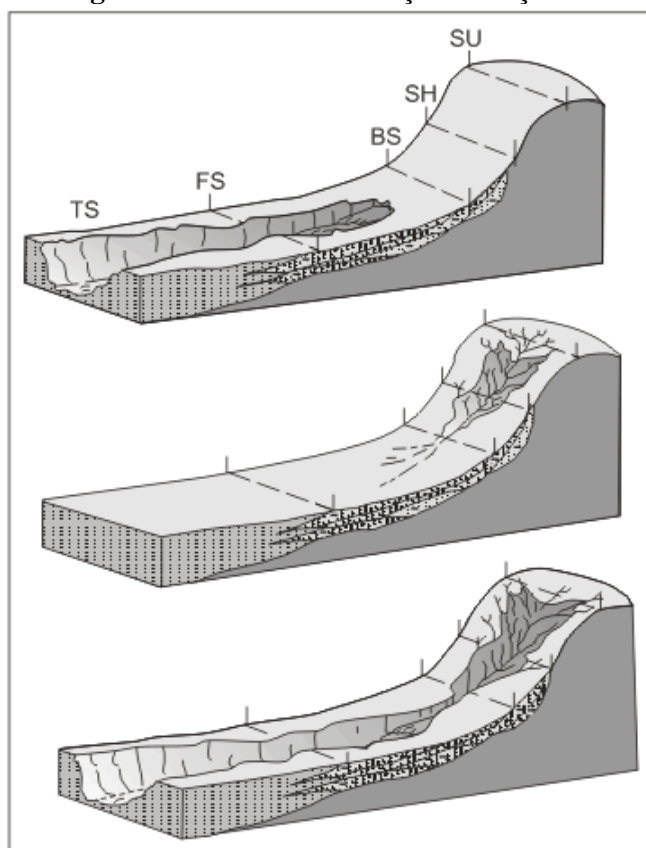
Segundo Vieira (1980), as voçorocas podem ser classificadas ainda como:

I- Simples: erosão superficial que se estabelece num local onde o perfil geológico é constituído por solos arenosos, diferenciando-se os horizontes apenas quanto à granulometria. A precipitação atua destacando o solo pelo impacto e desagregando-o pelo escoamento superficial excedente, potenciado pela declividade da encosta. Esse processo erosivo é superficial, com destacabilidade e desagregação do solo e perdas consideráveis do mesmo processo de jusante para montante segundo talvegue ou rasgo principal. Ao atingir outros sulcos e valetas, o processo se multiplica, ramificando de forma destrutiva.

II - Voçoroca complexa: incisão erosiva que acontece quando entre os horizontes arenosos encontra-se intercalada uma ou mais camadas de argila. A ação da água é constante, tanto pela sua parcela correspondente ao escoamento superficial no período chuvoso quanto pelo escoamento subterrâneo no período seco. No local onde a erosão superficial encontra o lençol freático, existe um acentuado efeito erosivo devido ao escoamento subsuperficial que, encontrando menor resistência, inicia o processo erosivo subterrâneo.

Cabe aqui comentar que, classificadas como simples, essas incisões tem como condicionante principal o fluxo concentrado superficial. Nesse caso, não atingindo o fluxo permanente, desconsiderando a atuação do fluxo subsuperficial, parece, assim, mais uma ravina que uma voçoroca. Nesse sentido, considerando o conceito adotado para a pesquisa dos processos erosivos encontrados na área, tal classificação demonstra uma evolução de ravinas para voçorocas.

Oliveira (1999) classifica as voçorocas como conectadas ou desconectadas (Figura 7). Nesse modelo, o autor descreve: I - voçoroca conectada à rede hidrográfica; II - voçoroca desconectada da rede hidrográfica; III - integração entre os dois tipos já apresentados.

Figura 7 - Modelo de evolução de voçorocas

Fonte: Oliveira (1999, p.82).

Conforme o autor pressupõe-se que grandes incisões erosivas que ocupam longitudinalmente o conjunto da encosta seriam o resultado da integração, ao longo do tempo, de incisões conectadas e desconectadas da rede de drenagem, e áreas de cabeceiras de vale, nascentes e canais de primeira ordem são os pontos da rede hidrográfica que demonstram maior sensibilidade às oscilações hidrodinâmicas, portanto consideradas propícias à ocorrência de voçorocas.

Nesse sentido, através de observações feitas no campo, foi pontuado que grande parte das voçorocas é de origem natural e está conectada à rede de drenagem. Sendo assim, os canais de primeira ordem demonstram a relação que há entre a dinâmica de vertente e a dinâmica fluvial.

As voçorocas localizam-se quase sempre em áreas de média vertente. Uma vez formado o fluxo superficial nas cabeceiras de drenagem, este é canalizado, dando início a um processo de ravinamento que, ao atingir o fluxo de água permanente, formará a voçoroca.

De acordo com o modelo de Horton (1945), apresentado por Coelho Netto (2003):

Por ação do escoamento superficial em áreas íngremes e planas, onde uma série de sulcos erosivos paralelos se formariam a partir de uma distância crítica dos divisores. Com o tempo o ajuste lateral e a micro-pirataria de águas superficiais entre sulcos erosivos adjacentes acarretariam competição e aprofundamento dos sulcos de maior concentração de escoamento superficial originando canais incisos (gully). E estes se tornariam mais capazes de absorver seus competidores, por gradação lateral, propiciando a expansão de redes de canais integradas e dendríticas. Neste modelo hortoniano, a extensão máxima do canal dominante não ultrapassaria a distância crítica dos divisores (x), constituindo-se uma zona não-erosiva próxima aos divisores.

Para Coelho Netto (2003), as cabeceiras de drenagens desenvolvem-se no domínio das vertentes e apresentam topografia côncava sobre as quais se originam ou avançam as cabeças de canais. Ainda para a autora, o termo “cabeça de canal” refere-se às extremidades de montante dos canais erosivos que avançam progressivamente através dos fundos de vales das cabeceiras de drenagens. E os canais erosivos das cabeceiras de drenagem drenam através da rede principal de canais fluviais, integrando os processos de encostas com os processos fluviais.

Já o IPT (1986) agrupou as voçorocas em dois grandes grupos:

- ✓ Causadas por alterações hidrológicas das bacias de contribuição das drenagens provocadas pelos desmatamentos, sendo que o desequilíbrio hidrológico aliado às características locais favoráveis ao ravinamento provocam alterações no regime de vazões, criando condições para o surgimento de fenômenos de *piping* e erosão remontante, induzindo assim ao rejuvenescimento das drenagens.
- ✓ Originadas por concentração das águas superficiais. Dentro desse grupo, estão incluídas as voçorocas urbanas causadas pelo lançamento concentrado das águas pluviais e servidas em drenagens próximas às cidades.

Considerando essa última classificação, é possível incluir também as voçorocas em áreas rurais, pois são originadas da concentração de águas superficiais ou pelo menos se tornaram mais ativas devido a esse fato, uma vez que com o uso do solo destinado à agropecuária e com a retirada da cobertura vegetal de origem, essa situação acaba por criar canais de concentração da água superficial, formando então as ravinas que, ao atingirem um fluxo permanente e associadas a outros processos irão evoluir para voçorocas.

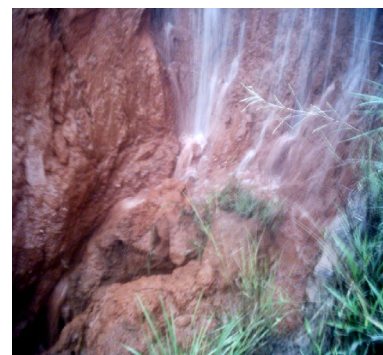
A partir dessa observação, o trabalho desenvolvido na bacia do Ribeirão Vai-Vem, “Avaliação do processo evolutivo e da dinâmica erosiva: um estudo de caso no município de Ipameri-GO” apresenta resultados de monitoramento da evolução de uma voçoroca em área rural e mostra a atuação também do escoamento superficial (Fotos 1, 2 e 3).

Foto 1 – Ipameri (GO): fluxo formado com água da chuva (2007)



Fonte: Rocha (2007).

Fotos 2 e 3 – Ipameri (GO): atuação do escoamento superficial na voçoroca (2007)

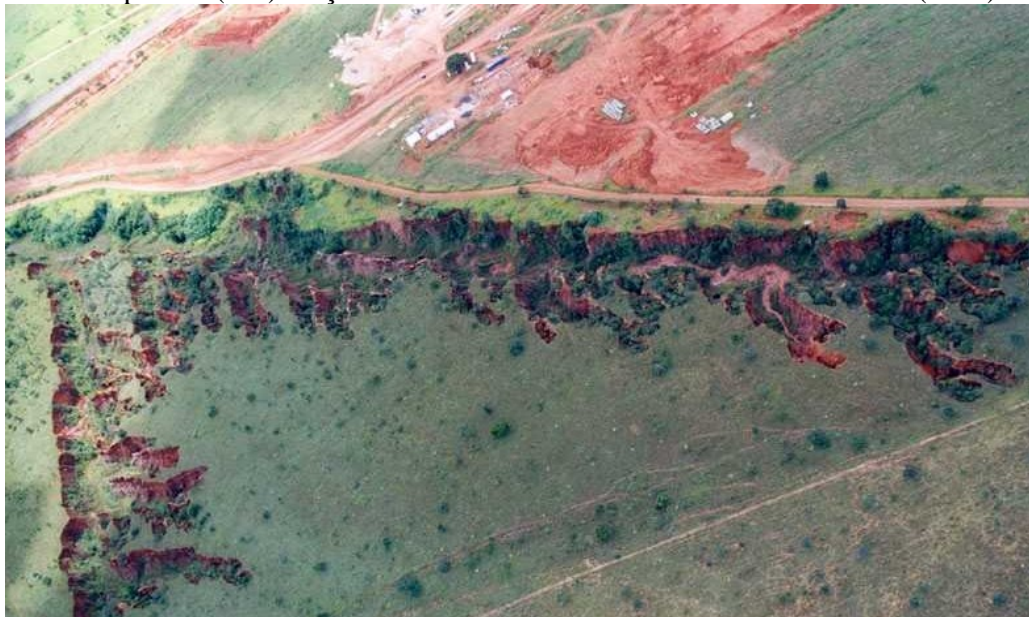


Fonte: Rocha (2007).

A voçoroca em questão possui aproximadamente 1.050 m de extensão, de 10 a 15 m de profundidade e largura de até 60 metros, estando interligada ao curso d'água local e mostrando-se parcialmente estabilizada com a presença de vegetação com diversificadas espécies (Foto 4). Tem-se registro da voçoroca na década de 30.

Em Rocha (2007), o uso do solo é destinado a atividades agropecuárias, e com a substituição da vegetação local e o pisoteio do gado, houve um aumento do poder erosivo através da ação da água sobre o solo. Assim, as atividades praticadas no local possibilitaram a formação de um fluxo concentrado de água que escoava para dentro da voçoroca, provocando uma erosão por queda d'água, ocasionando a formação de alcovas de regressão, movimentos de massa e arraste de sedimentos no interior da voçoroca, mecanismos esses que contribuem para a evolução do processo erosivo, possibilitando o recuo das bordas da voçoroca.

Foto 4 - Ipameri (GO): voçoroca localizada na bacia do Ribeirão Vai-Vem (2007).



Fonte: Rocha (2007).

De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (1999), os processos erosivos são decorrentes de fatores como a declividade, a pluviosidade, o comprimento da encosta, a capacidade de absorção da água pelo solo e a resistência deste à erosão e à densidade da cobertura vegetal,

sendo a água o mais importante agente erosivo, e o escoamento concentrado capaz de ocasionar entalhes profundos, bem como o movimento de grandes massas de solo.

As características litológicas do substrato rochoso, associadas à intensidade do intemperismo e à natureza da alteração e grau de fraturamento, condicionam também a suscetibilidade do material à erosão (FILHO, 1998).

Para Fendrich (1997, p. 33), a voçoroca é um estágio avançado da erosão em canais, sendo que a sua ocorrência deve-se “à ação do homem no meio ambiente” e o seu desenvolvimento se processa em quatro estágios:

- I - Erosão do canal onde há escoamento acelerado, que ocorre relativamente devagar, conforme a resistência do solo.
- II - Aumento rápido em profundidade e largura, carreando uma grande parte do material, com isso formando-se a cabeceira da voçoroca, a qual se move para montante.
- III - Declínio do aumento da voçoroca, com início de crescimento da vegetação natural.
- IV - Estabilização da voçoroca, com o canal em seu interior locado num perfil de equilíbrio, com paredes estáveis e vegetação em desenvolvimento segurando o solo.

Portanto, vê-se que “a ação do homem no meio” contribui para a evolução do processo, porém não é determinante na sua gênese, na medida em que se devem considerar outros condicionantes, como as características do solo, a litologia e a ação do fluxo subterrâneo. Esse fato foi observado na área de pesquisa e descrito no trabalho acima citado. Foi pontuada na voçoroca a presença de *pipings* (Foto 5), que se formam com a atuação dos fluxos subsuperficiais e os escorregamentos que acontecem principalmente depois dos períodos em que há saturação do solo devido ao processo de infiltração e juntamente com a ação da água do lençol freático no interior da voçoroca.

Foto 5 – Ipameri (GO): *Pipings* (2007).



Fonte: Rocha (2007).

Foto 6 – Ipameri (GO): escorregamentos ocasionados pela ação da água no interior da voçoroca (2007).



Fonte: Rocha (2007).

As ravinas e voçorocas são causadas por vários mecanismos que, de acordo com Coelho Netto (1998), atuam em diferentes escalas temporais e espaciais. Para o desenvolvimento de voçorocas, afirma Fendrich (1997, p. 22), “vários fatores e processos ocorrem simultaneamente ou em períodos diferentes”.

A evolução das voçorocas foi descrita baseada nas fases propostas por Fendrich (1997), sendo que cabem algumas observações quanto à evolução dos processos erosivos a partir de visitas a campo na área de estudo. Portanto, é importante destacar que se optou nesta pesquisa por definir como voçoroca as incisões erosivas que demonstram atuação dos condicionantes ligados ao escoamento subsuperficial e superficial, destacando a relação entre a dinâmica de vertente e a dinâmica fluvial, observando o uso do solo como um fator de influência na sua evolução.

Na primeira fase, trata-se de uma erosão de cabeceira devido ao impacto das gotas da chuva, considerando as características da precipitação, da concentração do escoamento superficial e da própria existência do desenvolvimento caracterizado pela voçoroca. A água concentrada na superfície da vertente inicia a montante da cabeceira da voçoroca um fluxo de água turbulento, que transporta em suspensão grande quantidade de material fino, formando sulcos ou reentrâncias nas encostas devido a diferentes fatores associados, como: forma da encosta, características dos materiais geológicos, escoamento superficial, índice pluviométrico e uso e ocupação.

Nota-se que, nessa primeira fase, de acordo com a área de pesquisa e os critérios utilizados para a conceituação de ravinas e voçorocas, pode-se defini-la como um processo de ravinamento, uma vez que, de acordo com a descrição acima, não há interceptação do fluxo permanente e o condicionante ao processo erosivo determinante é o escoamento superficial (Foto 7).

Foto 7 – Ipameri (GO): processo de ravinamento e ação do escoamento superficial (2007).



Fonte: Rocha (2007).

Na fase intermediária, há a formação da erosão no canal (talvegue) pelo fluxo de água concentrado. Esse processo é desenvolvido de acordo com a altura da lâmina d'água, a velocidade e também a declividade, fatores que estão inter-relacionados e que definem a tensão tangencial responsável pela desagregação da partícula.

Nessa fase, ocorre progressão acelerada da cabeceira da feição através do aprofundamento do canal e progressão para montante e lateral, ocasionada por processos de erosão gerada por escoamento subsuperficial (*piping*) e instabilidade das paredes. Aqui, os canais passam a ter uma base larga e o talvegue do canal apresenta-se mais contínuo. O solapamento na base das cabeceiras constitui um dos processos mais efetivos de sua expansão.

Observa-se aqui o início da formação de voçorocas, quando há a ação concomitante entre o escoamento superficial e o subsuperficial. É interessante observar que fenômenos como a formação de alcovas de regressão e a erosão por quedas d'água (*plunge pool erosion*),

originados a partir da água de escoamento superficial que desemboca no interior das incisões erosivas, contribui para o avanço das paredes da voçoroca (Fotos 8 e 9).

Foto 8 – Ipameri (GO): alcovas de regressão (2004).



Fonte: Rocha (2004).

Foto 9 – Ipameri (GO): erosão por queda d'água (*plunge pool erosion*)

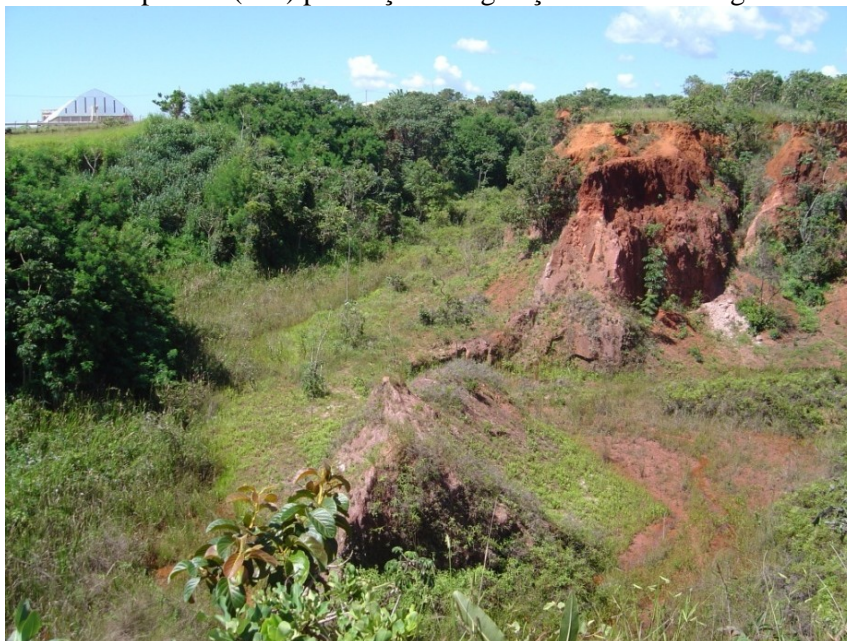


Fonte: Rocha (2007).

Já na fase madura, acontecem as quedas das paredes laterais devido à ação da água subterrânea, considerada uma das principais causas do desenvolvimento de voçorocas. Outro fator a ser considerado é a ação da água do lençol freático, pois uma vez que a lenta percolação da água se processa junto às paredes da voçoroca e vai escavando o pé do talude que dá sustentação a uma porção da parede, esta vai abaixo. Nessa fase, não ocorre mais o aprofundamento, as incisões já apresentam a forma em “U”, portanto a progressão é predominantemente lateral, devido aos fenômenos que foram citados anteriormente (*pipings* e solapamentos). As voçorocas nesse estágio podem apresentar a largura maior que a altura, e em determinado momento a erosão torna-se uma feição estável do relevo.

Portanto, para a área de pesquisa em questão, vê-se como uma situação que apresenta maior ou menor atividade, porém não considerada como uma feição estável, visto que esta ainda apresenta um escoamento subsuperficial que poderá desencadear alguns fenômenos que contribuem para a progressão da voçoroca, mesmo que minimamente. Tal fato pode ser relacionado à presença da vegetação (Foto 10).

Foto 10 – Ipameri (GO) presença de vegetação em uma margem da incisão.



Fonte: Rocha (2007).

A presença da vegetação faz com que a voçoroca adquira certa estabilidade, na medida em que a cobertura vegetal funciona como fator de proteção do solo, aumentando a capacidade de infiltração, além do sistema radicular, que promove uma maior estabilização deste.

A vegetação em determinada área de erosão apresenta como ponto positivo a redução do transporte de sedimentos, já que as raízes agregam partículas aumentando a resistência do solo, e os caules, por sua vez, aumentam a rugosidade, reduzindo então a energia potencial da água. Outro fator é a diminuição também do escoamento superficial (*run-off*) em que as raízes aumentam a taxa de infiltração da água no solo, a porosidade deste e os canais de sucção, bem como o tempo de infiltração, além da redução dos processos erosivos pelo efeito *splash*: as plantas interceptam a chuva reduzindo a erosão laminar, evitando a erosão pelo efeito das gotas da chuva, que não atingem diretamente o solo.

Portanto, quanto aos processos erosivos encontrados na área de pesquisa, é possível relacionar as ravinas com a formação dos canais de primeira ordem. A formação das voçorocas está relacionada a essas ravinas, uma vez que o aprofundamento de canais pelo escoamento concentrado formado pela precipitação e a ação do escoamento subsuperficial facultarão a evolução da voçoroca, não devendo ser descartados, portanto, outros fatores relacionados às características físicas da área.

Percebe-se que os processos erosivos da área apresentam diferentes graus de atividades, fato esse relacionado ao uso e à ocupação do solo. As ravinas e voçorocas estão localizadas principalmente na área rural.

3.7. Voçorocas urbanas e rurais

As voçorocas encontradas em áreas rurais podem se desenvolver em diferentes formas de uso da terra. É importante observar que se trata de voçorocas que podem ter sido ativadas. Para Vieira (1980), essas incisões estão em locais que apresentam má cobertura e estão sujeitos a manejo inadequado. Segundo se acredita, é o produto do ravinamento iniciado ao longo de valas de demarcação, trilhas ou linhas de plantio, havendo mudança do regime de escoamento como consequência do desmatamento.

De acordo com o autor, outro fenômeno é o “abatimento brusco” como uma depressão eliptiforme de poucos metros de profundidade, com o eixo maior rumo à maior declividade, apresentando o solo rompido em pequenos blocos escalonados que suportam a vegetação original no topo. As evidências colhidas indicam a origem desse fenômeno no descalçamento progressivo da área por erosão interna, que evolui até dado instante, quando o teto mais coesivo do solo superficial desaba.

Já em áreas urbanas, as voçorocas se constituem em processos erosivos que envolvem grandes áreas. Elas possuem um caráter destrutivo, o que afeta a comunidade e incomoda o poder público. As atividades de construção levam à impermeabilização da área, concentrando o escoamento superficial das águas e acelerando o processo de formação e evolução dessas formas de erosão.

Para Ferreira (2004), as voçorocas têm sua origem associada à falta de planejamento adequado, considerando-se as particularidades do meio físico, as condições socioeconômicas e as tendências de desenvolvimento da área urbana. E afirma ainda que o desenvolvimento urbano amplia as áreas construídas e pavimentadas, aumentando assim o volume e a velocidade do escoamento superficial que, se não for dissipado, levará à sua concentração, acelerando os processos de desenvolvimento de ravinas e voçorocas.

Considera-se como fator principal de influência no desenvolvimento de processos erosivos em áreas periurbanas a vazão da corrente de água formada pela precipitação. Nesse caso, deve ser observado se na área há infraestrutura capaz de minimizar os impactos ocasionados pelo escoamento superficial concentrado. Assim sendo, os processos erosivos em áreas urbanas desenvolvem-se pela interação de características naturais e também pelo uso da terra que influencia a drenagem, gerando fluxo concentrado e um desequilíbrio hidrológico provocado pela ocupação das terras de maneira inadequada.

Tal fato pode ser observado na área da pesquisa, pois com a construção do bairro Dona Nízia – o qual não apresenta infraestrutura adequada, com rede de captação da água da chuva evitando a concentração do fluxo –, desencadeou-se a formação de ravina (Foto 11).

Foto 11 – Ipameri (GO): Formação de ravina em área urbana devido ao escoamento superficial.



Fonte: Rocha (2007).

3.8. Uso da terra

3.8.1. A evolução do uso da terra

Ao analisarmos uma bacia hidrográfica, devemos considerar todos os fatores que estão condicionados ao seu funcionamento. Nesse sentido, a vegetação é um fator de extrema importância ao estudar a presença de voçorocas, uma vez que a cobertura vegetal é um condicionante ao desenvolvimento de processos erosivos.

Ferreira (2003) define o cerrado como uma savana tropical constituída por vegetações rasteiras, arbustivas e árvores. É formado, principalmente, por gramíneas coexistentes com árvores e arbustos esparsos que, englobando os aspectos florísticos e fisionômicos da vegetação, está sobre solo ácido e relevo suave ondulado, recortado por uma intensa malha hídrica. Possui uma grande diversidade em espécies da flora e fauna.

Existem muitas descrições quanto à fisionomia do cerrado que, de acordo com Ferreira (2003), apresenta três formações divididas em onze tipos fitofisionômicos agrupados em:

- **Formações Florestais:** Mata ciliar, Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão.
- **Savânicas:** Cerrado sentido restrito, Parque de Cerrado, Palmeiral e Vereda.
- **Campestres:** Campo Sujo, Campo Rupestre e Campo Limpo.

Na área de pesquisa em questão, é possível encontrar os subgrupos mata ciliar, mata de galeria, cerradão, cerrado *stricto sensu*, veredas e campo sujo, totalizando seis diferentes subgrupos.

Entende-se por mata ciliar a vegetação florestal que acompanha um curso d'água. É uma vegetação arbórea e não forma galerias. Apresenta-se sobre terrenos acidentados; sobre

solos rasos, como os Cambissolos, Plintossolos ou Litólicos; sobre solos profundos, como os Latossolos e Pozólicos; ou ainda sobre solos Aluviais.

Já a mata de galeria é uma vegetação florestal que acompanha os cursos d'água de pequeno porte e córregos, estando localizada nos fundos de vales ou nas cabeceiras de drenagem onde os cursos d'água ainda não escavaram um canal definitivo.

O cerradão é caracterizado como uma formação florestal com características xeromórficas, com cobertura arbórea variando em torno dos 70% e altura média do estrato arbóreo entre oito e quinze metros. Ocorre sobre solos profundos, bem drenados, de média e baixa fertilidade, ligeiramente ácidos, pertencentes às classes de Latossolos.

Já o cerrado *stricto sensu* é caracterizado pela presença de árvores baixas, inclinadas e tortuosas, sendo encontrado em grande parte sobre os Latossolos.

Quanto ao campo sujo, possui um tipo fisionômico herbáceo-arbustivo esparsos, e é encontrado em solos rasos, como os Litólicos e Cambissolos, ou ainda em solos profundos e de baixa fertilidade, como os Latossolos de textura média e as Areias Quartzosas (FERREIRA, 2003).

As veredas representam uma fitofisionomia com palmeiras arbóreas e outras espécies arbustivo-herbáceas, geralmente em áreas úmidas, com os buritis formando dossel. São encontradas em solos Hidromórficos.

O cerrado ocupava uma grande região no Brasil, cerca de dois milhões de quilômetros quadrados do território, sendo considerado no início do século XXI como uma fronteira de desenvolvimento da crescente produção agrícola.

Entretanto, grandes mudanças têm ocorrido com a modernização das técnicas produtivas que chegaram ao campo. Tais técnicas, aliadas a uma série de programas de investimentos financeiros com subsídios de programas políticos, provocaram um avanço sobre o cerrado, já que este apresenta condições favoráveis, como a extensa área agricultável,

a facilidade na utilização de maquinários e de certa forma o preço acessível frente às terras agricultáveis da região Sul do território brasileiro, o que favoreceu um intenso processo de degradação.

A cobertura vegetal é uma defesa natural contra a erosão, já que atua como um escudo protetor contra o impacto das gotas de chuva. Ela contribui para a dispersão da água, interceptando-a antes que atinja o solo e aumentando a infiltração desta e, além disso, melhora a estruturação do solo devido ao acréscimo de matéria orgânica, aumentando a capacidade de retenção de água e a diminuição da velocidade de escoamento da enxurrada graças ao maior atrito na superfície.

Várias regiões de Goiás tiveram a ocupação de suas terras relacionadas com a produção agropecuária que tomou conta da paisagem. Portanto, a partir do avanço da fronteira agrícola em direção ao cerrado da região Centro-oeste, rapidamente as terras mais planas deram lugar à produção de gêneros agrícolas, principalmente grãos. O surto de ocupação, com a utilização de áreas indevidas, ocorreu com bastante intensidade entre os anos de 1970 e 1990, período em que a legislação ambiental era mais frágil e não havia grandes preocupações de proteção e conservação ambiental. Dessa forma, ocorreram diversos impactos ambientais a curto, médio e longo prazo, sendo que merecem destaque a diminuição da fertilidade do solo, a erosão e o assoreamento dos canais fluviais.

É importante relacionar o uso do solo com o aparecimento e/ou desenvolvimento de processos erosivos, pois com a retirada da vegetação, o solo fica exposto e a água da chuva passa a incidir diretamente, causando o efeito “*splash*”. Se a chuva persiste, logo se formam as primeiras poças, que ao se unir formarão o escoamento superficial em lençol ou o escoamento laminar. A fase seguinte será alcançada com a formação do escoamento superficial concentrado. Assim, logo aparecerão os primeiros sulcos no solo, que acabarão dando origem às ravinas e voçorocas.

3.9. Modelagem ambiental

A superfície terrestre é representada por diferentes formas que constituem o relevo, sendo este o resultado da interação entre a litosfera, a atmosfera, a hidrosfera e a biosfera e, para Florenzano (2008, p.73), trata-se “dos processos de troca de energia e matéria que se desenvolvem nessa interface, no tempo e no espaço”.

A Geomorfologia é a ciência que estuda as formas de relevo, sua origem e os processos atuantes. Para tanto, os elementos que compõem a superfície terrestre, como rochas, solo, vegetação e água, bem como a inter-relação entre estes, que resulta em uma fragilidade ou potencialidade do meio ambiente, fazem parte do envolvimento dessa ciência na busca pela compreensão de fenômenos desenvolvidos diante do uso e da ocupação do meio pelo homem.

Assim, para a análise da superfície terrestre e apresentação de resultados, a Geomorfologia dispõe de diferentes metodologias que, associadas ao geoprocessamento, permitem o conhecimento mais detalhado das formas de relevo e dos processos geomorfológicos atuantes. Nesse sentido, a geração de modelos, por exemplo, é um meio que se tornou dinâmico devido à possibilidade de combinar variáveis de acordo com a relevância de parâmetros envolvidos em determinados processos geomorfológicos.

Para Christofolletti (1999), o modelo pode ser compreendido como qualquer representação simplificada da realidade ou então como um aspecto do mundo real que representa, de acordo com o interesse do pesquisador, a possibilidade de reconstruir a realidade, prever um comportamento, uma transformação ou uma evolução.

Ainda segundo o autor acima, a definição mais adequada para o modelo é a apresentada por Haggett e Chorley (1967, 1975), que o define como uma estruturação simplificada da realidade, de forma generalizada, representando características ou relações importantes. São aproximações altamente subjetivas por não incluírem todas as observações ou medidas

associadas, mas são valiosas por não priorizarem detalhes acidentais e permitirem o aparecimento dos aspectos fundamentais da realidade.

Christofolletti (1999) relata que os modelos preditivos, construídos como imagens de sistemas, como matrizes de relações entre os elementos de um sistema espacial, preveem sua evolução quando se modificam alguns parâmetros, isto é, certas condições de *input* e valores das variáveis de seus elementos e relações.

Para Morgan (2005), os modelos são simplificações da realidade que podem ser de predição ou explicação. Os pesquisadores procuram por modelos que descrevam como é a função do sistema e como este responde às mudanças. Para tanto, o autor citado descreveu tipos de modelos diferentes para conhecimento da atuação da erosão (Quadro 2).

Quadro 2 - Tipos de modelos

Tipo	Descrição
Físico	Modelos experimentais feitos em laboratório, que assumem dinâmica semelhante entre o modelo e a realidade.
Análogo	Uso de sistemas mecânicos ou elétricos.
Digital a) Físico b) Estocástico c) Empírico	Baseado no uso de computadores para processar grande quantidade de dados. a) Baseado nas equações matemáticas para descrever os processos envolvidos no modelo, levando em conta as leis de conservação de massa e energia. b) Baseado na sequência generalizada de dados estatísticos de amostras existentes; útil para gerar sequência física baseada em modelos empíricos em que os dados são apenas avaliados em curtos períodos de observação. c) Baseado na identificação estatística significativa da relação entre variáveis importantes em que uma base de dados razoáveis existe. Três tipos de análises são organizados: <ul style="list-style-type: none"> ✓ Caixa preta: onde só os <i>inputs</i> de entrada e saída são estudados; ✓ Caixa cinza: onde alguns detalhes de como o sistema opera são conhecidos; ✓ Caixa branca: onde todos os detalhes de como o sistema opera são conhecidos.

Fonte: Morgan (2005, p. 117).

Org.: Rocha (2011).

Ainda conforme o autor, muitos modelos usados nos estudos sobre erosão de solos são empíricos, do tipo “caixa cinza”, pois têm como base a definição dos fatores mais importantes e, através da observação, mensuração, experimentos e técnicas estatísticas, o relacionam com a perda de solos. Contudo, o entendimento dos mecanismos dos processos erosivos aumenta e a oportunidade para o desenvolvimento da “caixa branca” existe. Assim, os modelos preditivos são considerados úteis para a aplicação prática, sendo que cada vez mais pesquisadores desenvolvem modelos com uma base física sólida, refletindo o conhecimento de como funciona o processo erosivo.

Nesse contexto, a geração de um modelo de suscetibilidade apresenta, a partir da combinação de parâmetros determinados, os locais que apresentam suscetibilidade quanto ao processo de voçorocamento na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Vai-Vem.

A avaliação da área quanto à suscetibilidade à ocorrência de voçorocas está baseada na hipótese de que essas incisões tendem a acontecer em locais que apresentam características semelhantes, uma vez que foram definidos parâmetros relevantes na área, consistindo então em uma forma de prever a suscetibilidade de voçoroca, visto que esse modelo representa uma simulação que prevê a suscetibilidade da área e até mesmo o risco que esses processos oferecem ao lugar.

A partir do uso do Sistema de Informação Geográfica (SIG), a criação e sobreposição de parâmetros possibilitaram o uso de mais variáveis na geração de um modelo e assim geraram melhores resultados.

O desenvolvimento das voçorocas está relacionado aos diferentes condicionantes do meio físico e ao conhecimento dessas características, como as litológicas, as formas que caracterizam o relevo e os tipos de solos e o seu uso. A ocupação de maneira conjunta e integrada será fundamental para o entendimento da relação destes com os processos erosivos.

Para geração do modelo, a fim de analisar a presença de voçorocas na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Vai-Vem, em Ipameri-GO, foi feito um levantamento de parâmetros relevantes nessa área para o desenvolvimento de voçorocas. Os parâmetros definidos para geração do modelo foram a declividade, as formas de vertente (curvatura plana e perfil), os tipos de solo e o uso destes. Feita essa definição, foram atribuídos valores a cada parâmetro em cada uma de suas classes.

A litologia não foi utilizada como parâmetro para geração do modelo, visto que o mapeamento geológico da região apresenta características generalizadas, dificultando a interpretação para a área.

3.9.1. Parâmetros utilizados na ponderação dos fatores

Para Christofolletti (1999), na construção de um modelo são considerados aspectos envolvidos com características e funções, que por vezes se entremeiam. Estes possibilitam identificar e avaliar a qualidade do modelo oferecido, criando exigências mais específicas para que, com cuidado, sejam aplicados na modelagem. O modelo então constitui um procedimento técnico que “torna-se necessário por constituir pontes entre os níveis de observação e as proposições teóricas”.

De acordo com o autor, as principais características do modelo são:

- ✓ Seletividade – seleção das variáveis relevantes e ordenação da prioridade em função dos valores concebidos para integrá-las.
- ✓ Estruturação – os aspectos selecionados são explorados de acordo com suas conexões, considerando as suas características morfológicas e funcionais.
- ✓ Enunciativo – o delineamento da estrutura mostra a existência de determinado padrão, em que os fenômenos são considerados em termos de relação sistêmica.

- ✓ Simplicidade – em sua apresentação, o modelo deve ser simples de manipular e de ser compreendido, porém sem perder a qualidade das informações representadas.
- ✓ Analógicos – deve demonstrar uma maneira aproximada de se compreender a realidade representada.
- ✓ Reaplicabilidade – o modelo não deve ser apenas descritivo de um caso, podendo ser utilizado em outros da mesma categoria.

4. RESULTADOS

4.1. Caracterização morfométrica da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Vai Vem

A morfometria da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Vai-Vem está representada pelas características e índices contidos no quadro 3. A bacia hidrográfica em questão possui área de drenagem de 416,21 km², com um perímetro de 114,85 m.

Quadro 3 - Ipameri (GO): Características da bacia do ribeirão Vai Vem (2011).

Características morfométricas	Valores
Área de drenagem (A)	416.21 km ²
Perímetro (P)	114.854 m
Coeficiente de compacidade (Kc)	0,075
Fator forma (F)	0, 084
Índice de circularidade (IC)	0,39
Padrão de drenagem	Dendrítica
Comprimento total dos canais (Lt)	846.206 m
Comprimento do canal principal (Lp)	70.132 m
Ordem da bacia	Sexta ordem
Densidade de drenagem (Dd)	2,033 km/km ²

Org.: Rocha (2011).

É uma bacia de sexta ordem (Mapa 2), de acordo com a classificação de Strahler (1952), composta por 1 canal de sexta ordem, 3 canais de quinta ordem, 8 canais de quarta ordem, 45 canais de terceira ordem, 314 canais de segunda ordem e 968 canais de primeira ordem (Quadro 4).

Quadro 4 - Ipameri (GO): sistema de drenagem da bacia do ribeirão Vai Vem (2011)

Ordem	Nº de canais	Comprimento dos canais (km)
1ª	968	392,99
2ª	314	215,44
3ª	45	118,11
4ª	08	59,91
5ª	03	37,66
6ª	01	22,07
Total	1339	846,20

Org.: Rocha (2011).

A Bacia Hidrográfica do Ribeirão Vai-Vem é classificada, segundo Christofolletti (1980), como exorreica, ou seja, aquela em que as águas possuem escoamento direto até o mar, com um padrão de drenagem dendrítico.

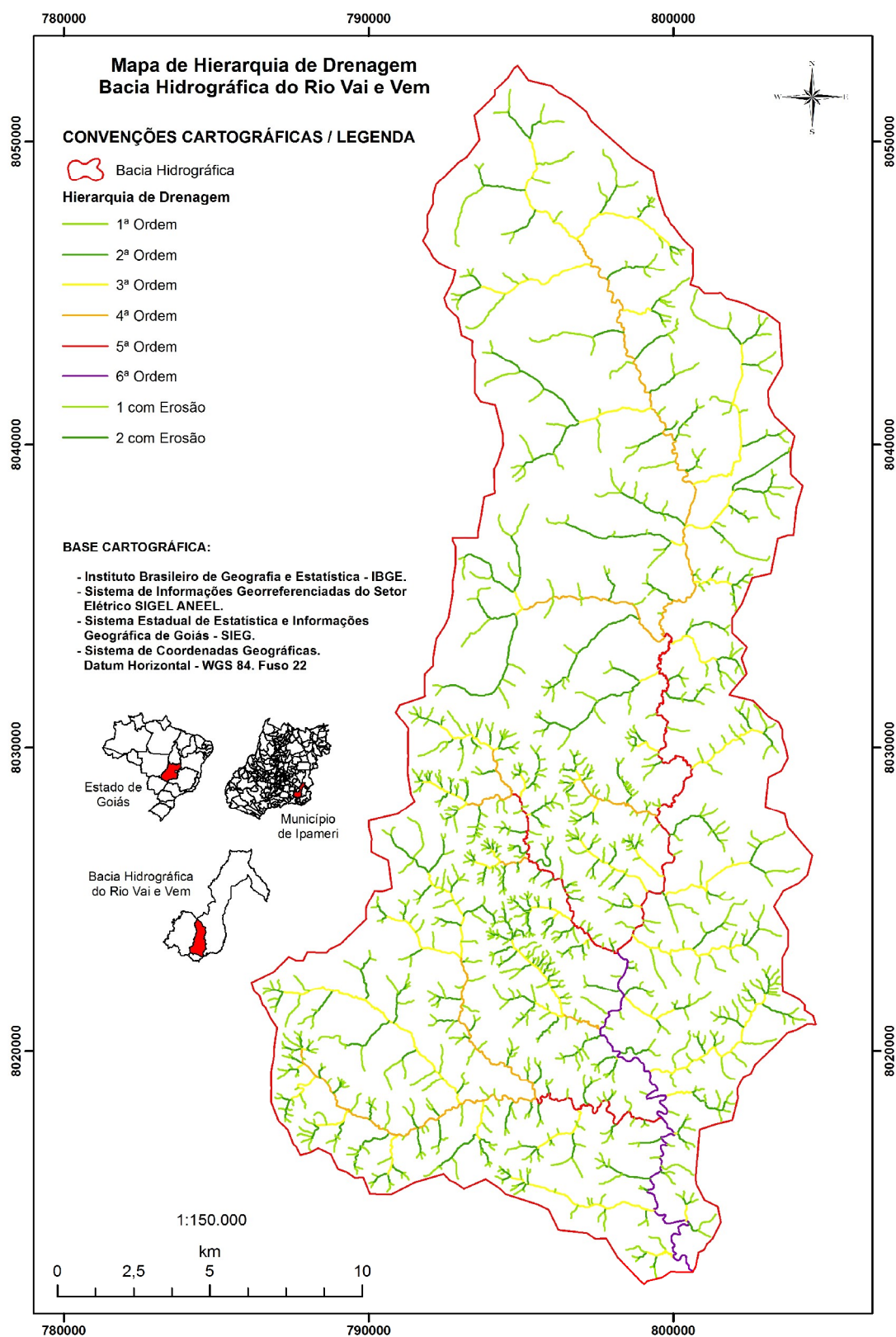
Seu coeficiente de compacidade (kc) é de 0,075. Caso esse resultado apresentasse um coeficiente igual à unidade, corresponderia, então, a uma bacia circular; e como a tendência à enchente de uma bacia será tanto maior quanto mais próximo da unidade for esse coeficiente, constata-se, em relação ao (Kc) dessa bacia, suscetibilidade ao escoamento, por ser mais alongada.

O fator forma (F) é igual a 0,084, considerado um valor baixo. Correlacionado a outros índices morfométricos, como o coeficiente de compacidade (Kc) e o índice de circularidade (Ic), permite determinar que a bacia possui média suscetibilidade à cheia.

Quanto ao índice de circularidade (Ic) encontrado, é de 0,39, caracterizando a bacia como alongada, o que é confirmado também pelo coeficiente de compacidade (Kc) citado anteriormente. Seu valor não está próximo da unidade, evidenciando um menor risco de grandes cheias, tornando-se, em condições normais de pluviosidade anual e topografia, favorável ao escoamento.

Ter conhecimento do valor da densidade de drenagem permite um melhor planejamento de uso e manejo do território. Villela e Mattos (1975) acrescentam que a densidade de drenagem pode variar entre 0,5 Km/km² e 3,5 Km/km² ou mais, sendo que o primeiro valor é apresentado por bacias com drenagem pobre, e o segundo por aquelas com boa drenagem. A Bacia Hidrográfica do Ribeirão Vai-Vem apresentou uma densidade de drenagem igual a 2,03 km/km², indicando, portanto, que possui média capacidade de drenagem.

Mapa 2 - Bacia Hidrográfica do Rio Vai e Vem: hierarquia de drenagem.
Elab.: Rocha (2011)



4.2. Declividade e orientação

A representação da declividade mostra os diferentes graus de inclinação das vertentes, constituindo-se como parâmetro relevante quanto à ocorrência de voçorocas. Em uma visão geral, a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Vai-Vem apresenta baixa declividade, uma vez que em quase toda sua extensão varia entre 2 a 11%, como pode ser observado na Tabela 1.

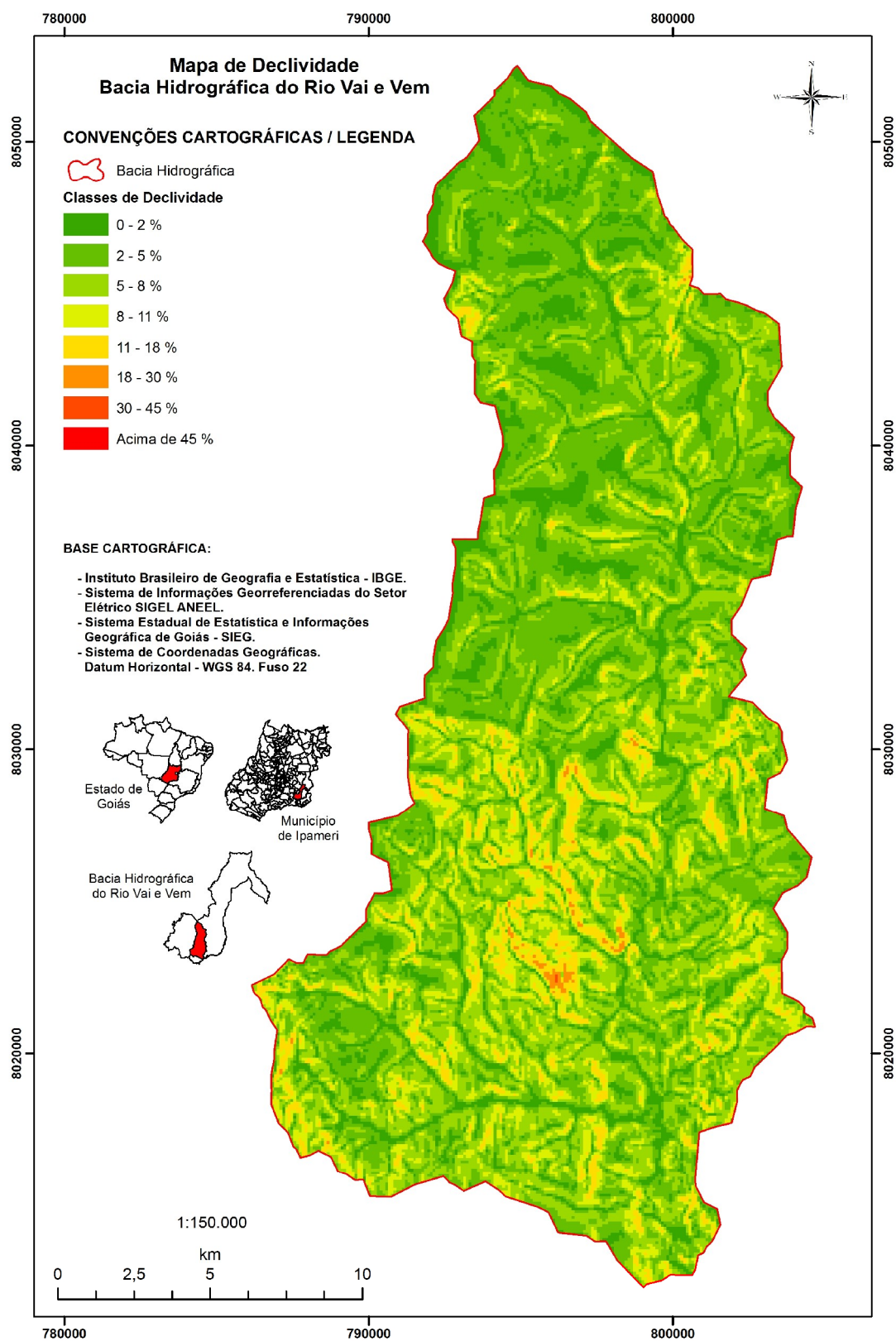
Tabela 1 - Relação das declividades com o percentual da área total da bacia.

Declividade (%)	Área da bacia (ha)	Total da bacia (%)
0 – 2	6066,60	14,58
2 - 5	161911,15	38,90
5 - 8	12417,38	29,83
8 - 11	4955,45	11,91
11 – 18	1880,38	4,52
18 – 30	108,01	0,26
30 – 45	2,51	0,0
Acima de 45	00	0,00
Total	41621,50	100

Org.: Rocha (2011).

O Mapa 3 representa as declividades do terreno da bacia em estudo. Na região norte da bacia, predominam os declives que variam entre 0 e 8 %, com algumas áreas de declividade superior a 11%. Na porção sul, há o predomínio de declives maiores, que variam de 2 a 18%. A parte central é representada por declives que estão entre os valores de 0 a 8%.

Mapa 3 - Bacia Hidrográfica do Rio Vai e Vem: declividade.
Elab.: Rocha (2011)



4.3. Tipologia e distribuição geográfica dos solos

A potencialidade erosiva está ligada às características dos solos e às formas do relevo, fatores considerados relevantes no desenvolvimento de processos de voçorocamento na região da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Vai-Vem.

As características do solo observadas no campo e associadas às informações obtidas através da análise granulométrica possibilitaram não só a associação das características dos solos aos dados de declividade, mas também classificá-los quanto à sua relevância na suscetibilidade ao desenvolvimento de voçorocas.

Com efeito, nota-se uma variação quanto às características da textura do solo em relação à vertente. Assim, os cambissolos localizam-se na parte de maior altitude da bacia hidrográfica, associados a uma litologia que se apresenta conglomerática. Nas partes mais elevadas, em especial na parte mais a montante da bacia, encontramos os latossolos vermelhos amarelos. À média encosta correspondem os solos neossolos quartzarênicos, que apresentam uma predominância da matriz areno-argilosa, e finalmente nos fundos de vale encontramos os gleissolos e os hidromórficos. Assim, nota-se uma clara evidência da distribuição dos tipos de solos em função da morfologia da área (Figuras 12 e 13).

Foto 12 – Ipameri (GO): características dos solos encontrados em alta vertente (2011).



Fonte: Rocha (2011).

Foto 13 – Ipameri (GO): características dos solos encontrados em baixa vertente (2011).



Fonte: Rocha (2011).

Dessa forma, solos que apresentam características mais suscetíveis ao aparecimento de voçorocas encontram-se localizados em relevos com declives que variam entre 8 a 18 %. Na área de pesquisa, os solos neossolos quartzarênicos e os cambissolos podem ser considerados aqueles que apresentam um maior potencial de erosão, nomeadamente ao surgimento do processo de voçorocamento.

Outros fatores que influenciam no desenvolvimento de voçorocas devem ser analisados, tais como as características quanto à cobertura vegetal. De fato, se o solo se encontra protegido por cobertura vegetal, o impacto das gotas de chuva é diminuído e a velocidade do fluxo superficial é reduzida. Assim, a influência desses outros fatores será diferenciada. Porém, não pode ser descartada a questão da formação do fluxo subsuperficial, pois a presença da vegetação facilita a infiltração.

Mas, se a cobertura for removida, poderá começar o processo de destacamento e transporte das partículas. Esse processo começa com a formação das poças, que podem, ao se unir, iniciar o processo de escoamento superficial, dando início ao processo de ravinamento, evoluindo para a formação de voçorocas.

Sendo assim, o comportamento dos elementos climáticos deve ser conhecido, pois quando combinados com os fatores citados contribuem para a aceleração do processo de voçorocamento, visto que a água é o principal agente dos processos erosivos.

De acordo com o Mapa 4, os latossolos estão principalmente na parte norte da bacia, nas áreas mais elevadas e espalhados ainda por outras pequenas áreas. Na descrição de Bigarella (2003), com base na suscetibilidade apresentada nos solos do noroeste do Paraná, os latossolos são classificados quanto à intensidade da suscetibilidade erosiva (moderada à ligeira). Já segundo Conciani (2008), os índices apresentados também indicam moderados índices erosivos.

Quanto aos neossolos quartzarênicos, estes ocupam a maior extensão da bacia, principalmente a parte centro-sul. Nesse caso, em áreas de médias vertentes, são solos que apresentam grande potencial erosivo. Conforme os autores acima citados, são solos que apresentam forte suscetibilidade erosiva. Já os cambissolos são encontrados em pequenas áreas, localizados nas partes mais elevadas e também considerados solos com um potencial elevado de erosão.

Os solos hidromórficos e os gleissolos estão localizados topograficamente na base da vertente, onde os declives se apresentam mais baixos, demonstrando baixo potencial erosivo, fato que também se deve à quantidade de argila que apresentam (Tabela 2).

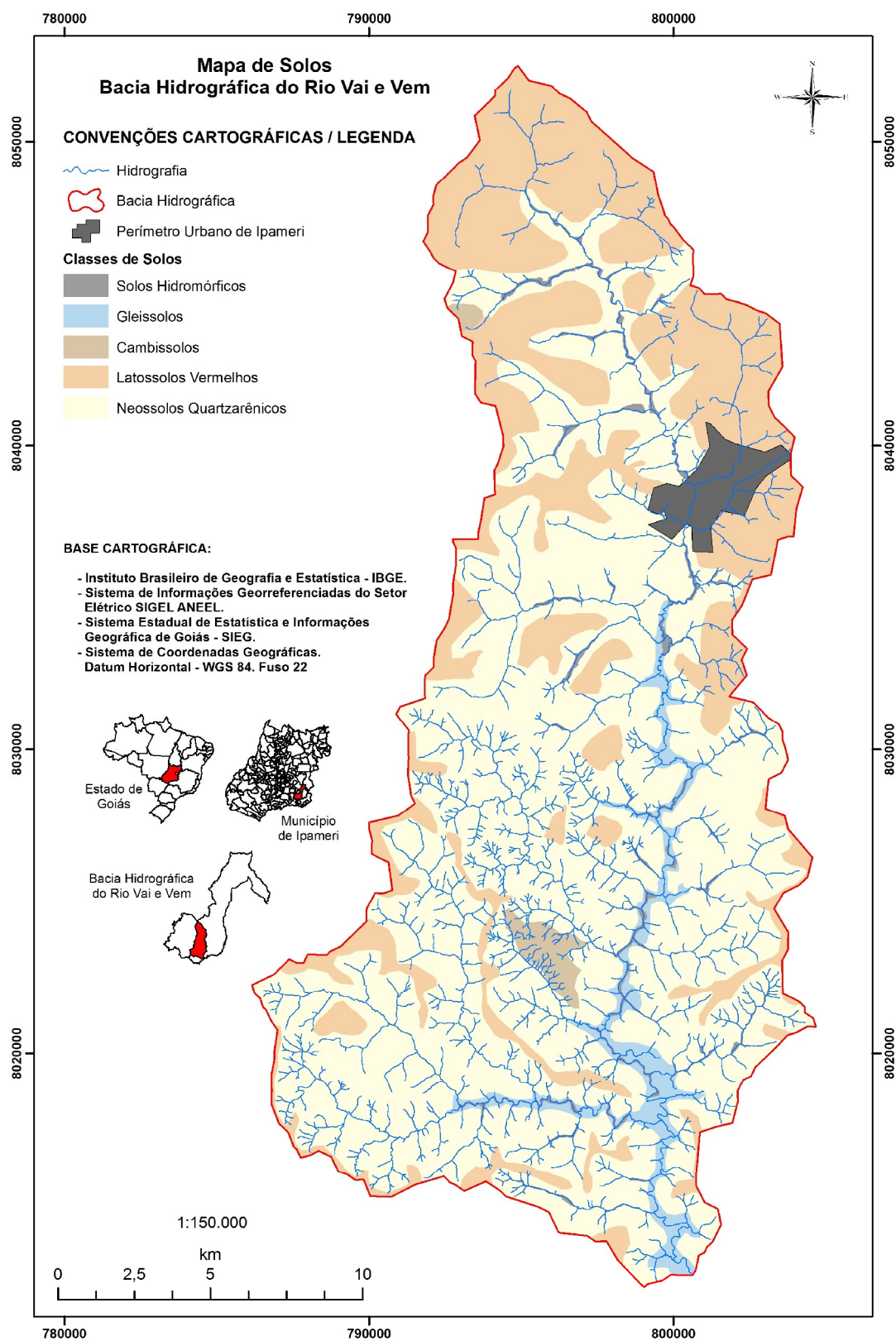
Tabela 2 – Ipameri (GO): Análise Granulométrica do solo (2011).

Campo	Argila %	Silte %	Areia %
PT03	32,00	9,20	58,80
PT06	18,20	27,70	54,10
PT08	24,20	11,80	64,00
PT17	28,10	9,30	54,10
PT21	27,10	10,20	62,70
PT23	53,20	16,40	30,40
PT26	34,90	12,10	53,00
PT30	15,80	12,00	72,20
PT32	12,70	4,50	82,80
PT35	17,00	10,00	73,00
PT36	24,90	10,80	64,30
PT37	32,60	6,70	60,70
PT41	19,50	5,00	75,50
PT42	37,50	10,80	51,70
PT43	14,50	3,20	82,30
PT51	33,70	12,40	53,90
PT54	34,10	8,00	57,90

Fonte: Laboratório de Geomorfologia – IG/UFU.

Org.: Rocha (2011).

Mapa 4 - Bacia Hidrográfica do Rio Vai e Vem: Solos.
Elab.: Rocha (2011).



4.4. Clima

As condições climáticas existentes no município de Ipameri, ao serem classificadas de acordo com o sistema Koppen, conferem a este a tipologia CW (ROCHA, 2007), ou seja, é caracterizado por apresentar uma temperatura média anual de 23°C e média pluviométrica anual entre 1.300 mm e 1.700 mm, apresentando uma estação chuvosa e quente (verão) e outra com temperaturas mais amenas (inverno). Considerando que o clima representa uma sucessão habitual de estados atmosféricos, é importante ressaltar que são “as diferenciações sazonais marcadas pelas condições pluviométricas que individualizam a Região Sudeste de Goiás” (FERREIRA, 2003, p. 86).

O clima local pode ser caracterizado por um período chuvoso (outubro a abril) e outro seco (maio a setembro). No período chuvoso, ocorrem aproximadamente 90% do total de precipitações pluviais, com destaque para os meses de dezembro e janeiro.

Do ponto de vista da dinâmica atmosférica, durante o inverno, a massa de ar Equatorial Continental desloca-se para a região central da Amazônia brasileira e a Tropical Atlântica move-se em direção à região Nordeste. Essas duas massas de ar são ricas em umidade e instabilidade e o resultado desse deslocamento é que a região central do Brasil, onde está localizada a área de estudo, adquire um clima mais seco. Concomitantemente a esse processo, a Massa de Ar Polar ganha força e consegue atingir a região, causando quedas bruscas de temperatura, chegando a valores inferiores a 10°C.

No verão, todo esse processo se inverte. As Massas de Ar Equatorial Continental e Tropical Atlântica deslocam-se para o centro-sul do país, proporcionando o aumento da umidade, da instabilidade e do calor.

4.4.1. Comportamento dos elementos climáticos (precipitação e temperatura)

O clima exerce grande influência no processo erosivo, em especial a precipitação, pois os principais efeitos deste na degradação do solo estão aliados ao fenômeno da chuva e à sua capacidade erosiva.

O total e a intensidade das chuvas podem causar diferentes taxas de erosão, ao provocar a dispersão das partículas, cujo efeito se dá em função da duração e frequência da chuva. Quanto maior a intensidade da chuva, maior a perda de solo por erosão (BERTONI & NETO 1985).

Sendo assim, avaliar a distribuição, a quantidade e a intensidade das chuvas é um fator importante, tanto para a erosão como para a taxa de infiltração, pois esses dois fenômenos estão ligados, já que se chove mais que o solo pode absorver, inicia-se o processo erosivo.

Os dados climáticos não foram considerados porque são fatores variáveis, e para a geração do modelo só foram usados fatores permanentes, já que estamos tratando de um modelo de suscetibilidade.

Os dados pluviométricos e de temperatura máxima e mínima foram obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia de Goiânia-GO (INMET). Esses dados compreendem um período de 10 anos, sendo que no ano de 2001 estão incompletos, apenas representados a partir do mês de novembro. A Tabela 3 apresenta uma média mensal dos dados de precipitação desse período.

Tabela 3 - Ipameri (GO): precipitação total/mensal em mm (2001- 2011)

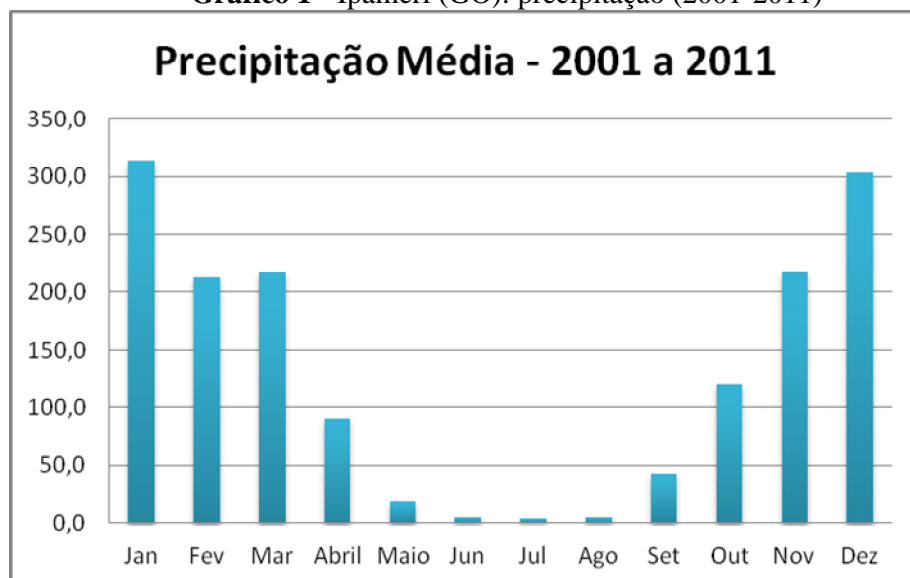
Mês/Ano	Jan	Fev	Mar	Abril	Maio	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	328,6	312,7
2002	208,8	260,0	127,7	12,7	27,5	0,0	0,6	0,0	60,0	51,3	111,8	221,6
2003	424,5	249,0	201,1	107,0	6,0	0,0	0,0	1,3	27,4	102,7	243,3	227,7
2004	390,2	394,4	185,9	172,5	17,7	0,0	25,8	0,0	31,6	23,7	124,6	373,0
2005	351,0	197,2	279,8	17,8	10,0	4,5	0,0	9,8	51,1	123,7	361,3	489,6
2006	185,0	91,5	406,8	192,1	32,3	12,0	5,3	19,3	85,1	272,2	244,1	400,4
2007	457,9	293,4	64,2	48,1	4,0	5,2	2,9	0,0	1,0	47,8	205,4	181,2
2008	259,5	309,4	281,2	78,6	52,0	0,0	0,0	0,0	30,2	52,4	134,1	301,8
2009	404,6	178,9	150,8	115,7	30,3	16,7	0,4	22,8	98,3	115,1	206,0	246,4
2010	196,6	58,5	145,1	62,0	2,5	1,4	0,0	0,0	43,5	92,5	214,9	279,3
2011	261,8	91,7	323,8	98,2	0,2	9,7	0,0	0,0	0,0	320,8	-	-

Nota da tabela: (Média) dados indisponíveis

Fonte: Estação Ipameri-GO (10° DISME; Latitude: 17° 43' S ; Longitude: 48°10' W; Altitude: 772,39 m)

Org.: Rocha (2011).

Quanto à distribuição dos índices pluviométricos durante os meses do ano, os maiores índices ocorreram nos meses de novembro (217,4mm), dezembro (303,4mm) e janeiro (314,0mm), sendo que os meses de junho (5,0mm), julho (3,5mm) e agosto (5,3mm) apresentaram os menores valores. Porém, no ano de 2006 e 2009, ocorreram chuvas durante o ano todo (Gráfico 1).

Gráfico 1 - Ipameri (GO): precipitação (2001-2011)

Fonte: Estação Ipameri-GO (10° DISME; Latitude: 17° 43' S ; Longitude: 48°10' W; Altitude: 772,39 m)

Org.: Rocha (2011).

A área em questão é submetida a um período seco e outro úmido, caracterizado por chuvas intensas em determinados meses. O desmatamento crescente, devido ao uso da terra para produções agrícolas e pastagens, vem expondo os solos à ação da água de superfície, e quando o período de exposição coincide com as máximas pluviométricas, o efeito é potencializado.

Os dados de temperatura representados nas Tabelas 4 e 5 se referem também aos anos de 2001 a 2011. Nota-se, a partir desses dados, que as temperaturas mínimas e máximas não demonstraram grandes diferenças, apresentando, portanto, pequena amplitude térmica.

Entretanto, os valores elevados de temperatura ao longo de todo o ano, associados aos valores de precipitação, tiveram como efeito forte a ação do intemperismo, facilitando o aparecimento de processos erosivos nas vertentes, nomeadamente processos de voçorocamento.

Tabela 4 - Ipameri (GO): temperatura mínima (2001- 2011).

Mês/Ano	Jan	Fev	Mar	Abril	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19,9	20,1
2002	20,3	20,1	19,6	18,0	16,1	13,4	14,0	16,5	17,9	20,5	20,4	20,8
2003	20,8	19,6	19,8	18,5	14,2	12,9	12,7	15,2	18,4	19,2	19,8	20,5
2004	20,5	20,0	19,0	18,6	16,1	13,4	13,1	13,1	17,5	19,8	20,2	19,8
2005	20,5	19,9	20,5	18,4	15,3	14,4	13,7	14,5	19,1	20,9	19,9	19,6
2006	19,4	20,3	20,2	19,0	14,2	13,4	13,4	15,7	17,5	19,7	19,8	20,6
2007	20,6	19,7	18,7	18,6	14,8	12,6	14,2	13,8	17,7	20,0	20,3	19,8
2008	19,8	19,7	19,3	19,1	14,9	13,7	11,3	14,9	16,9	19,6	19,9	19,9
2009	19,8	19,9	19,7	17,7	15,7	13,4	14,1	15,9	18,8	19,9	20,4	20,1
2010	20,2	20,2	20,3	17,1	14,9	12,5	14,4	12,7	18,2	19,5	19,7	20,5
2011	20,0	20,0	19,9	18,0	14,6	12,8	13,1	14,9	17,3	19,0	-	-

Nota da tabela: (-) dados indisponíveis

Fonte: Estação Ipameri-GO (10° DISME; Latitude: 17° 43' S ; Longitude: 48°10' W; Altitude: 772,39 m)

Org.: Rocha (2011).

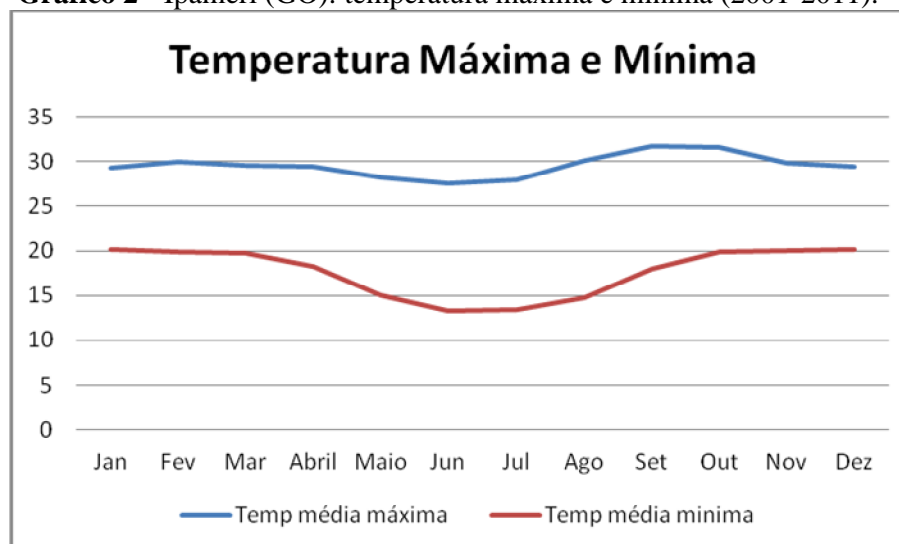
Tabela 5 - Ipameri (GO): temperatura máxima (2001- 2011).

Mês/Ano	Jan	Fev	Mar	Abril	Maio	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	29,6	28,9
2002	29,8	29,3	30,3	30,8	29,3	28,1	28,8	30,4	30,5	34,0	30,5	30,8
2003	29,2	30,5	28,8	29,1	27,3	28,5	27,6	29,9	31,1	30,8	29,5	30,9
2004	28,1	28,0	29,3	29,0	28,0	26,4	26,3	29,4	32,7	31,9	30,1	29,0
2005	29,1	30,5	28,9	30,1	27,9	26,9	27,6	29,5	31,3	33,5	28,6	28,0
2006	30,0	30,1	29,0	28,7	27,3	26,4	27,1	30,2	30,2	28,3	29,1	29,0
2007	29,5	29,0	30,7	30,2	28,8	28,3	28,6	29,5	32,3	33,0	30,5	29,5
2008	28,6	29,0	28,9	29,4	27,7	28,0	27,6	30,6	32,3	32,5	30,0	28,8
2009	29,7	30,3	30,5	28,5	27,8	27,1	29,2	29,6	31,3	30,4	30,8	29,2
2010	30,5	31,5	30,7	29,7	29,4	28,1	28,5	30,0	32,8	32,0	29,4	30,3
2011	28,9	30,9	28,8	29,5	28,3	27,5	28,7	31,4	32,8	29,1	-	-

Nota da tabela: (-) dados indisponíveis

Fonte: Estação Ipameri-GO (10° DISME; Latitude: 17° 43' S ; Longitude: 48°10' W; Altitude: 772,39 m)

Org.: Rocha (2011)

Gráfico 2 - Ipameri (GO): temperatura máxima e mínima (2001-2011).

Fonte: Estação Ipameri-GO (10° DISME; Latitude: 17° 43' S ; Longitude: 48°10' W; Altitude: 772,39 m)

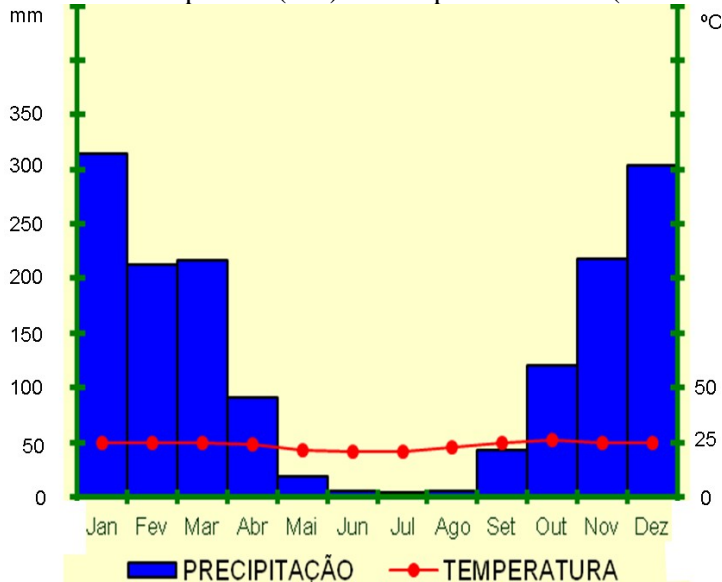
Org.: Rocha (2011).

Observando os dados de temperatura e precipitação, percebe-se que a maior ocorrência da segunda acontece nos meses de novembro a março, período em que a temperatura apresenta médias mais elevadas, característica própria do local.

É importante ressaltar que, de acordo com Miranda (2005), o clima é fundamental no processo de intemperismo, uma vez que este determina as condições de temperatura e umidade. Assim descreve que, sob condições de baixa pluviosidade, há o predomínio de processos físicos (intemperismo físico) que levam à quebra do material rochoso. Com o aumento da precipitação, toma lugar a dissolução dos minerais, de maneira que a decomposição química destes e a síntese das argilas tornam-se mais importantes. A temperatura altera a estabilidade dos minerais e aumenta a velocidade das reações.

O gráfico termopluiométrico traz informações simultâneas quanto às médias mensais de temperatura e à média de precipitação de cada mês. No gráfico estão representados os dados dos dez anos, observando-se que não apresenta grandes variações. Porém, é claramente evidente o período seco, que corresponde aos meses de maio a setembro, assim como a sua coincidência com o período de temperaturas mais baixas. Portanto, são dados importantes quando se trata de processos erosivos, já que, na formação de voçorocas, a água é seu principal agente. Conforme Conciani (2008, p.39): “no caso brasileiro, o tipo mais importante de erosão, que é a erosão hídrica”.

Gráfico 3 - Ipameri (GO): termo pluviométrico (2001-2011).



Fonte: Estação Ipameri-GO (10° DISME; Latitude: 17° 43' S ; Longitude: 48°10' W; Altitude: 772,39 m)
Org.: Rocha (2011).

Além disso, o escoamento superficial se forma com a água precipitada que não se infiltra e que, ao concentrar-se na superfície, devido à ação da gravidade, escoar para as partes mais baixas. Contudo, de acordo com as características hidráulicas do solo, as características das rochas e da cobertura vegetal, além de outras informações quanto à forma da bacia de drenagem, a declividade e as atividades antrópicas desenvolvidas podem atenuar ou acelerar o fluxo formado, o que vai influenciar no processo de voçorocamento.

4.5. Setorização da Bacia do Ribeirão Vai Vem

A setorização da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Vai-Vem (Mapa 5) foi realizada observando-se os critérios hidrográficos, hipsométricos e de direção de fluxo (mapas 01 A, 02 A e 03 A em anexo) e a declividade, permitindo identificar as diferenças quanto à assimetria no arranjo espacial da rede de drenagem. Assim, a bacia foi dividida em três setores, sendo A, B e C, conforme pode ser observado na Tabela 6.

Tabela 6 - Ipameri (GO): Setorização da bacia hidrográfica do ribeirão Vai Vem (2011).

Setores	Área (ha)	Porcentagem da bacia
Seção A	17.917,85	43,05
Seção B	15.297,57	36,75
Seção C	8.406,08	20,20
TOTAL	4.1621,50	100,00

Org.: Rocha (2011).

A declividade é representada por valores (%) que expressam a variação de altitude entre dois pontos do terreno em relação à distância que os separa.

A variação da altitude em uma bacia hidrográfica constitui importante fator que está relacionado com a temperatura e a precipitação. Para Villela e Mattos (1975), a declividade

dos terrenos de uma bacia controla em boa parte a velocidade com que se dá o escoamento superficial, afetando, portanto, o tempo que leva a água da chuva para concentrar-se nos leitos fluviais que constituem a rede de drenagens das bacias. Fatores como as enchentes, a capacidade de infiltração e a suscetibilidade à erosão dos solos estão ligados à capacidade do escoamento, que também tem influência da cobertura vegetal, dos tipos de solo, das características climáticas e da rede de drenagem.

Ao observar a configuração da rede de drenagem da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Vai-Vem, percebe-se que o relevo pode ser subdividido em três seções: a primeira, muito dissecada (Seção C), apresenta os maiores declives da bacia, que variam de 2 a 30%, possuindo 26,32% da sua área com declives acima de 8%, apresentando as drenagens próximas uma das outras. A segunda (Seção B), também bastante dissecada, mas com as drenagens um pouco mais distantes, apresenta declives que variam de 0 a 11%, com 43,74% da sua área com declives de 2 a 5%. Já a terceira (Seção A), com relevo medianamente dissecado e drenagens bastante espaçadas, possui declives que variam entre 0 a 11%, sendo que em sua maior parte (53,77%) apresenta declividades de 2 a 5% (Tabela 7).

Tabela 7 – Ipameri (GO): declividade média por seção da bacia do ribeirão Vai Vem (2011).

CLASSE (%)	Seção A	Seção B	Seção C
0 - 2	21,41	15,79	10,39
2 - 5	53,77	43,74	28,16
5 - 8	19,77	29,94	34,61
8 - 11	3,94	8,22	18,46
11 - 18	1,10	2,22	7,86
18 - 30	0,02	0,08	0,51
30 - 45	0,00	0,00	0,01
Acima de 45	0,00	0,00	0,00
TOTAL	100,00	100,00	100,00

Org.: Rocha (2011).

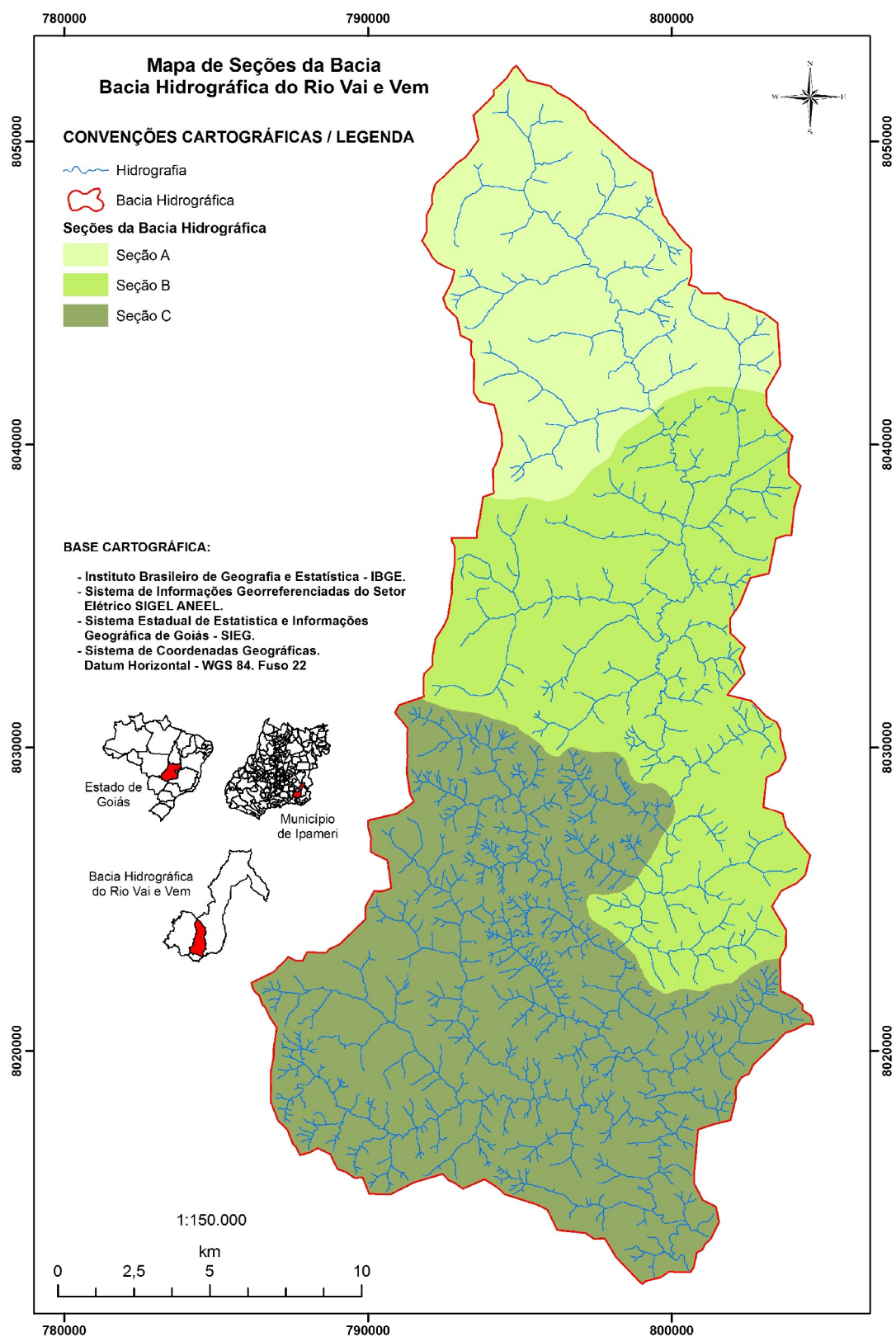
Com efeito, a interação entre esses tipos de relevo, apresentando solos com maior ou menor grau de suscetibilidade à erosão, determina o potencial erosivo de cada seção da bacia. Destaca-se aqui o uso da terra em cada seção, uma vez que, feita a retirada da cobertura vegetal em áreas de pastagens e a instalação de estruturas lineares combinada com o pisoteio de animais, potencializam-se os processos erosivos em áreas que apresentam maiores declives, pois são utilizadas como áreas de pastagens (Foto 14).

Foto 14 – Ipameri (GO): Pisoteio de gado (2011).



Fonte: Rocha (2011).

Mapa 5 - Bacia Hidrográfica do Rio Vai e Vem: Seções da bacia.
Elab.: Rocha (2011)

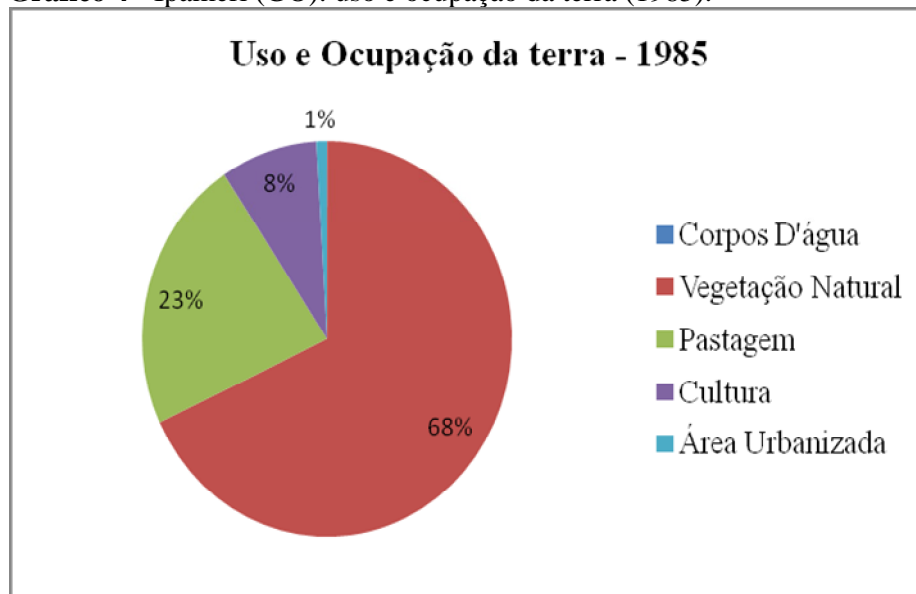


4.6. Uso da terra

O Mapa 6 (1985) representa o uso e a ocupação da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Vai-Vem, tidos como comuns para a região em que a área de pesquisa está inserida, e restritos basicamente à agricultura e pecuária. Entretanto, para que esse tipo de ocupação pudesse ocorrer, a cobertura vegetal natural do cerrado foi retirada. Assim, percebe-se que até o momento a área modificada se encontra ao norte da bacia, próxima à área urbana.

De acordo com o mapa de uso e ocupação (1985), a área modificada pelas atividades antrópicas soma aproximadamente 31% da área da bacia e 68% de área natural. Nesse sentido, é notável que a área ainda não tivesse sido tão modificada. No Gráfico 4, observa-se que em 1985 a vegetação natural ocupava 68% da bacia do Ribeirão Vai-Vem.

Gráfico 4 - Ipameri (GO): uso e ocupação da terra (1985).



Org.: Rocha (2011).

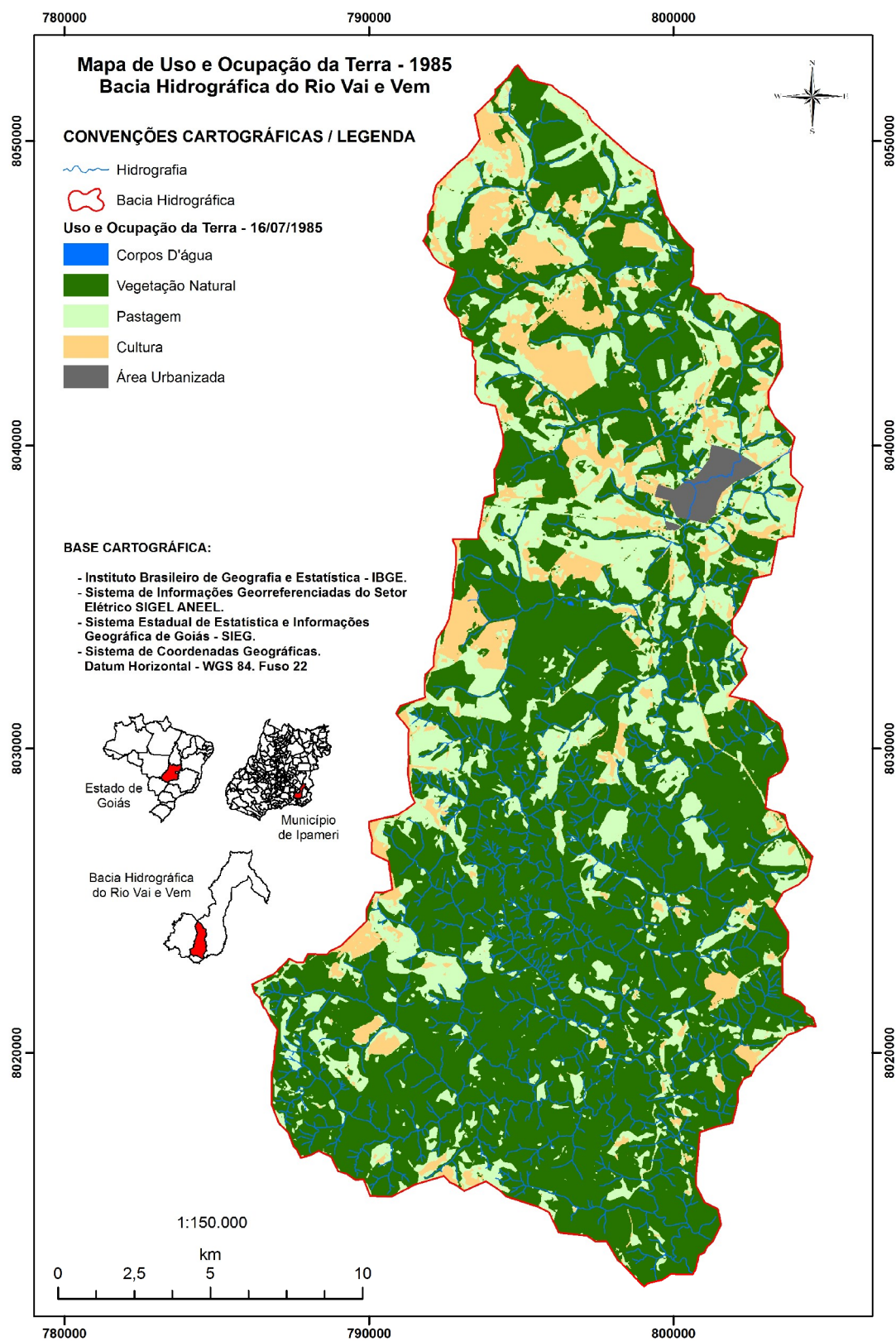
O potencial agrícola apresentado pelo município de Ipameri-GO trouxe mudanças tanto sociais quanto naturais, pois o crescimento na produção leva ao uso de novas técnicas, como a utilização de máquinas modernas, trazendo transformação espacial e consequências ambientais, como o desencadeamento de processos erosivos (Tabela 8).

Tabela 8 – Ipameri (GO): Uso e ocupação da terra – 1985 e 2011

Classe	Área – 1985 (ha)	% - 1985	Área – 2011 (há)	% - 2011
Corpos D'água	7,31	0,02	7,00	0,02
Vegetação Natural	28311,74	68,02	145733,00	35,01
Pastagem	9388,17	22,56	18123,63	43,54
Cultura	3527,44	8,48	8092,35	19,44
Área Urbanizada	386,82	0,93	825,20	1,98
TOTAL	41621,50	100,00%	41621,50	100,00%

Org. Rocha (2011).

Mapa 6 - Bacia Hidrográfica do Rio Vai e Vem: uso e ocupação da terra (1985)
 Elab.: Rocha (2011).

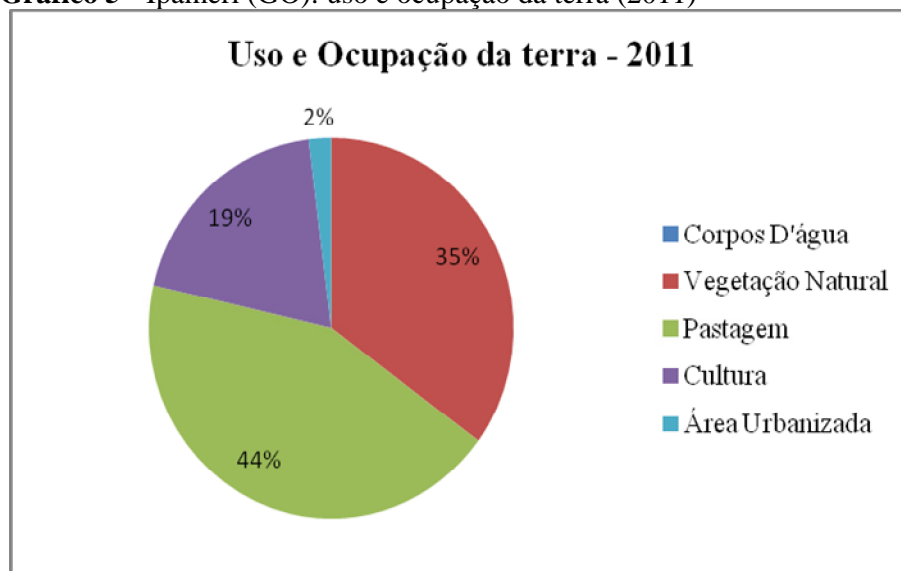


4.6.1. Uso da terra atual (2011)

Atualmente, com as atividades antrópicas, grande parte do bioma já está degradado. Na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Vai-Vem, algumas áreas apresentam grande extensão de áreas naturais transformadas em agricultura e pastagens, principalmente na parte norte da bacia.

No Gráfico 5, é possível observar que a área ocupada pela vegetação natural representa apenas 35%, o restante está transformado em agricultura (19%) e, principalmente, em áreas de pastagem (44%).

Gráfico 5 - Ipameri (GO): uso e ocupação da terra (2011)



Org.: Rocha (2011).

O município de Ipameri-GO experimenta um grande avanço em termos de produção agrícola, e sabe-se que essa produção se baseia no consumo de recursos naturais. Com o grande incremento na produção de grãos destacando-se na economia regional, essa área sofre com a degradação dos recursos naturais, sendo que a vegetação demonstra grandes extensões que foram incorporadas às atividades produtivas.

Considerando a área da bacia, a parte norte apresenta mais áreas ocupadas com a produção agrícola, fato esse que se explica pela configuração do relevo, uma vez que essa

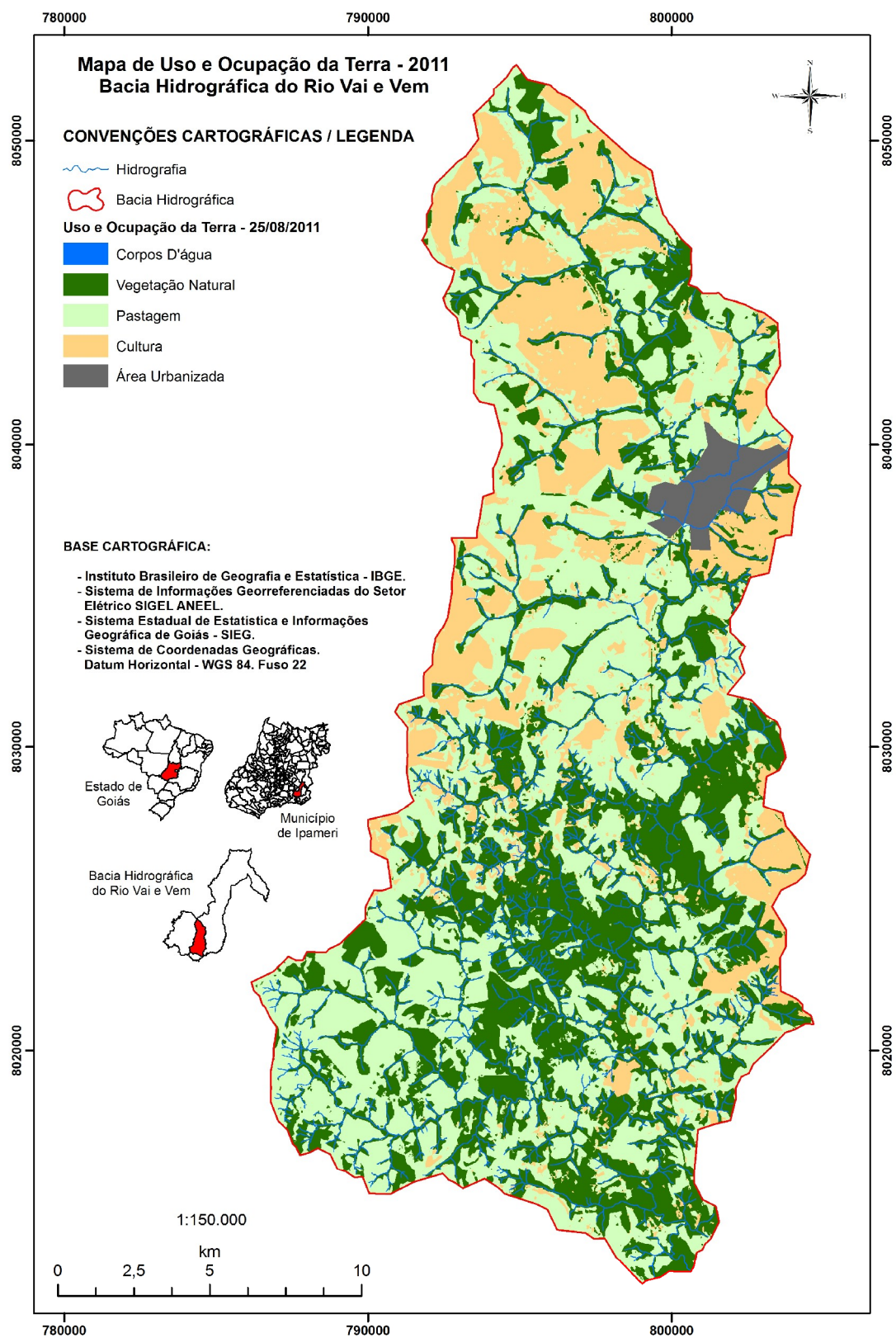
área apresenta menores declives, portanto formas de relevos mais suaves. Os solos são mais profundos (latossolos), o que permite o desenvolvimento agrícola.

Quanto às áreas de pastagens, são utilizadas principalmente para a criação de gado bovino, e estão distribuídas em toda a área da bacia, principalmente em sua porção sul, considerando as condições da morfologia local. Isso se justifica, já que essa área apresenta relevo fortemente ondulado, sendo pouco favorável ao uso agrícola.

A área urbana corresponde à cidade de Ipameri, a qual dispõe dos equipamentos urbanos públicos e privados que são necessários à população local. Possui característica essencialmente urbana, visto que aproximadamente 86% de seus habitantes completam o quadro da população da cidade.

Ipameri possui avenidas amplas e ruas bem traçadas, além de serviços como educação, saúde, lazer, transporte, comunicação e comércio variado, atendendo as demandas da população. Atualmente estão se desenvolvendo outras atividades econômicas no município, como a industrialização, que envolve a ocupação territorial e faz parte do processo de urbanização.

Mapa 7 - Bacia Hidrográfica do Rio Vai e Vem: Uso e ocupação da terra.
Elab.: Rocha (2011).



4.7. Ravinas e voçorocas na Bacia do Ribeirão Vai Vem

Os processos erosivos podem resultar tanto de processos naturais ligados às características físicas, como o solo, a litologia e o sistema de drenagem, quanto de desequilíbrios provocados pelas atividades humanas, principalmente com o uso inadequado da terra.

Porém, se a falta da vegetação resulta na aceleração dos processos erosivos, essa aceleração interfere no desenvolvimento de tais processos, já que facilita a infiltração, contribuindo para a formação do fluxo subsuperficial. Nesse sentido, faculta a origem de dutos, o que está relacionado à formação de *pipings*, sendo esse um fator atuante para o aparecimento e a evolução de voçorocas.

Foto 15 – Ipameri (GO) processos erosivos em área onde a vegetação foi alterada (2011).



Fonte: Rocha (2011).

Porém, como foi observado em campo, as ravinas e voçorocas estão presentes também em áreas onde a vegetação não foi totalmente alterada, o que demonstra a ocorrência de processos erosivos naturais que contribuíram para a formação dos canais de drenagens.

Adotando o critério de que as voçorocas são incisões em que acontece a ação do escoamento superficial e subsuperficial no seu aparecimento e evolução, consideram-se como voçorocas as incisões com maiores extensões que atingiram o lençol subterrâneo, e as ravinas incisões menores, sem a presença do fluxo subterrâneo (Fotos 16 e 17).

Foto 16 – Ipameri (GO) talude de voçoroca ativa (2011).



Fonte: Rocha (2011).

Foto 17 – Ipameri (GO): ravina conectada a cabeceira de drenagem (2011).



Fonte: Rocha (2011).

Essa consideração se deve ao fato da presença de incisões erosivas de maior e menor extensão e profundidade e em diferentes situações de desenvolvimento, porém em condições semelhantes quanto à localização na vertente, à forma e às características físicas da área. Quanto ao uso da terra, esse fator será analisado tendo em vista as diferentes formas de desenvolvimento das ravinas e conseqüentemente das voçorocas, observando que algumas incisões se tornaram mais ativas que outras, devido ao uso inadequado da terra (Fotos 18 e 19).

Foto 18 – Ipameri (GO): Voçoroca ativa devido ao uso da terra - área de pastagem (2011).



Fonte: Rocha (2011).

Foto 19 – Ipameri (GO): processo de ravinamento, onde a vegetação ainda não foi totalmente modificada (2011)



Fonte: Rocha (2011).

Os processos erosivos ocorrem na superfície e em profundidade, de acordo com as características físicas do local. A erosão tem a água como agente principal, agindo na desagregação, no transporte e na deposição do solo. Portanto, a erosão surge a partir da formação de pequenos canais através do escoamento concentrado, que aumenta em largura e profundidade, avançando a montante. Esses pequenos canais constituem as ravinas, algumas das quais poderão evoluir para voçorocas (Foto 20).

Foto 20 – Ipameri (GO): erosão em pequenos canais (2011).



Fonte: Rocha (2011).

Se a vegetação se estabelece nos canais, verificam-se alterações na sua evolução, podendo tornar as paredes das voçorocas mais estabilizadas. Portanto, foram diferenciadas as incisões na área de pesquisa, estabelecendo-se dois grupos. Aquele em que as incisões estão mais ativas, apresentando sinais de evolução, percebidas principalmente com o uso da terra nas cabeceiras e consideradas como estáveis, 2Q o grupo em que o uso da terra não afeta diretamente, não sendo, porém, caracterizadas como estabilizadas, uma vez que formado o canal e estabelecido um perfil de equilíbrio, a ação do fluxo subsuperficial continua.

Nesse sentido, Oliveira (1999, p.59) afirma que as “voçorocas podem ser consideradas incisões que resultam da tendência de sistemas naturais a atingir um estado de equilíbrio entre energia disponível e eficiência do sistema em dissipar energia”.

Na área de pesquisa em questão, foi constatada a presença de ravinas e voçorocas, as primeiras das quais estando associadas à dinâmica de vertentes, enquanto as segundas permitem a interação entre a morfodinâmica das vertentes e as dinâmicas fluviais. Considerando que ocorrem nas vertentes processos de erosão, transporte e sedimentação, com a origem das ravinas, estas funcionam como canais para o escoamento superficial, e com isso

o transporte de sedimentos, juntamente com a ação do escoamento subsuperficial, evolui para voçorocas.

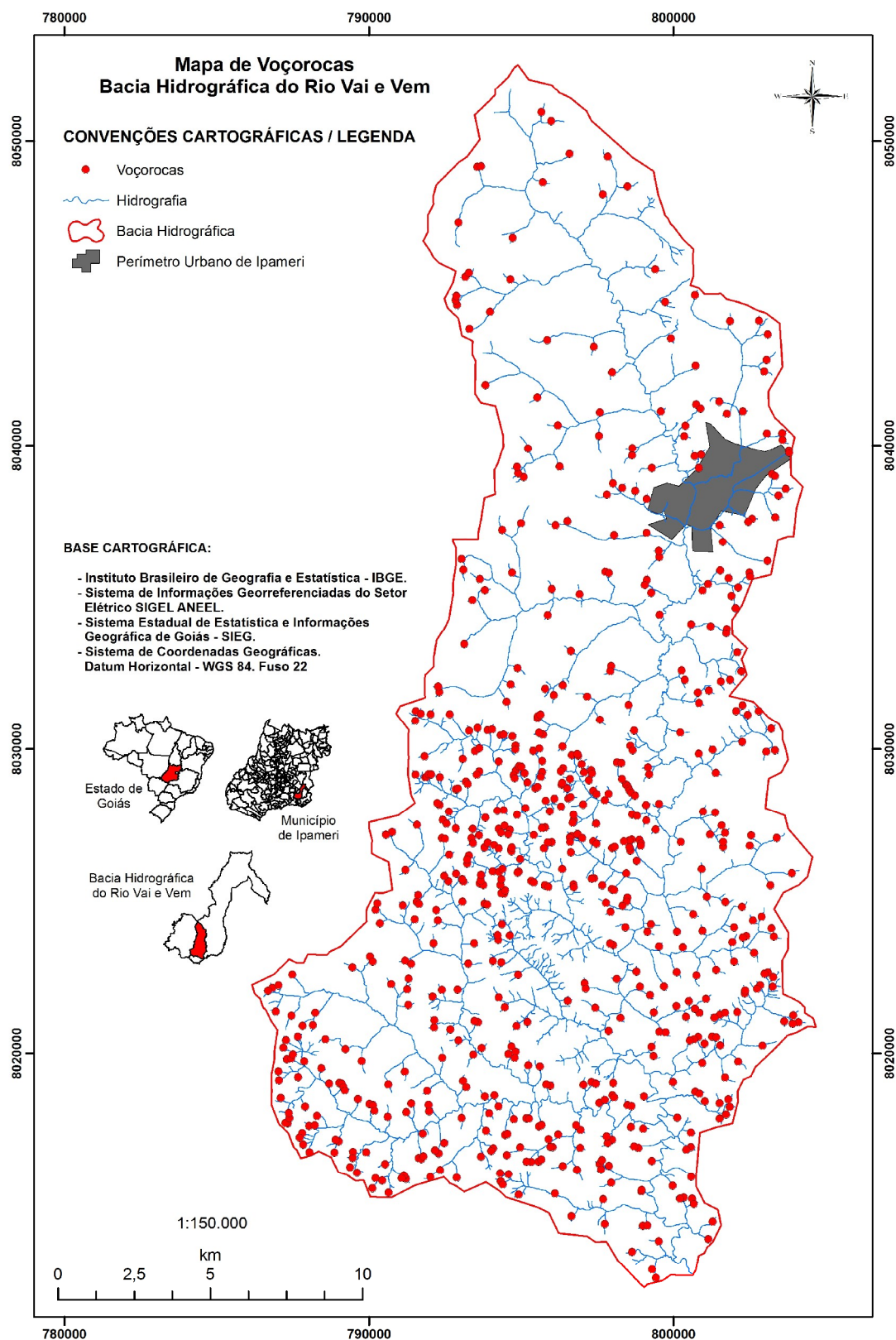
Bigarella (2003) afirma que a voçoroca é um fenômeno hídrico, envolvendo tanto a ação das águas superficiais como das águas subsuperficiais, iniciando com a concentração das águas na superfície da vertente, a princípio em pequenos regos, que evoluem para sulcos e ravinas cada vez mais profundas. A ação das águas superficiais concentradas assume aspectos importantes durante as enxurradas. No início, a montante da cabeceira da voçoroca, o fluxo de água turbulento transporta em suspensão grande quantidade de material fino, que exerce uma ação de arraste intensa no leito.

Com efeito, percebe-se que o processo de voçorocamento está ligado ao desenvolvimento do sistema de drenagem, confirmando a relação dessas incisões com os canais de primeira ordem.

Oliveira (1999, p.81) apresenta um modelo evolutivo para esses processos erosivos, considerando sua localização nas encostas e sua relação com os canais de primeira ordem. Porém, os mecanismos responsáveis por processos erosivos apresentam situações individuais que atuam em diferentes escalas de tempo e espaço, associados a um regime variável de precipitação, contribuindo, então, com esses processos ao longo do tempo.

Aliada ao escoamento superficial, a ausência ou não da cobertura vegetal, as características do solo, a litologia e os fenômenos internos são condicionantes importantes para a evolução de voçorocas. Portanto, é importante fazer aqui a associação de ravinas como resultado de processos erosivos em que o escoamento superficial é mais atuante.

Mapa 8 - Bacia Hidrográfica do Rio Vai e Vem: localização das voçorocas.
Elab.: Rocha (2011).



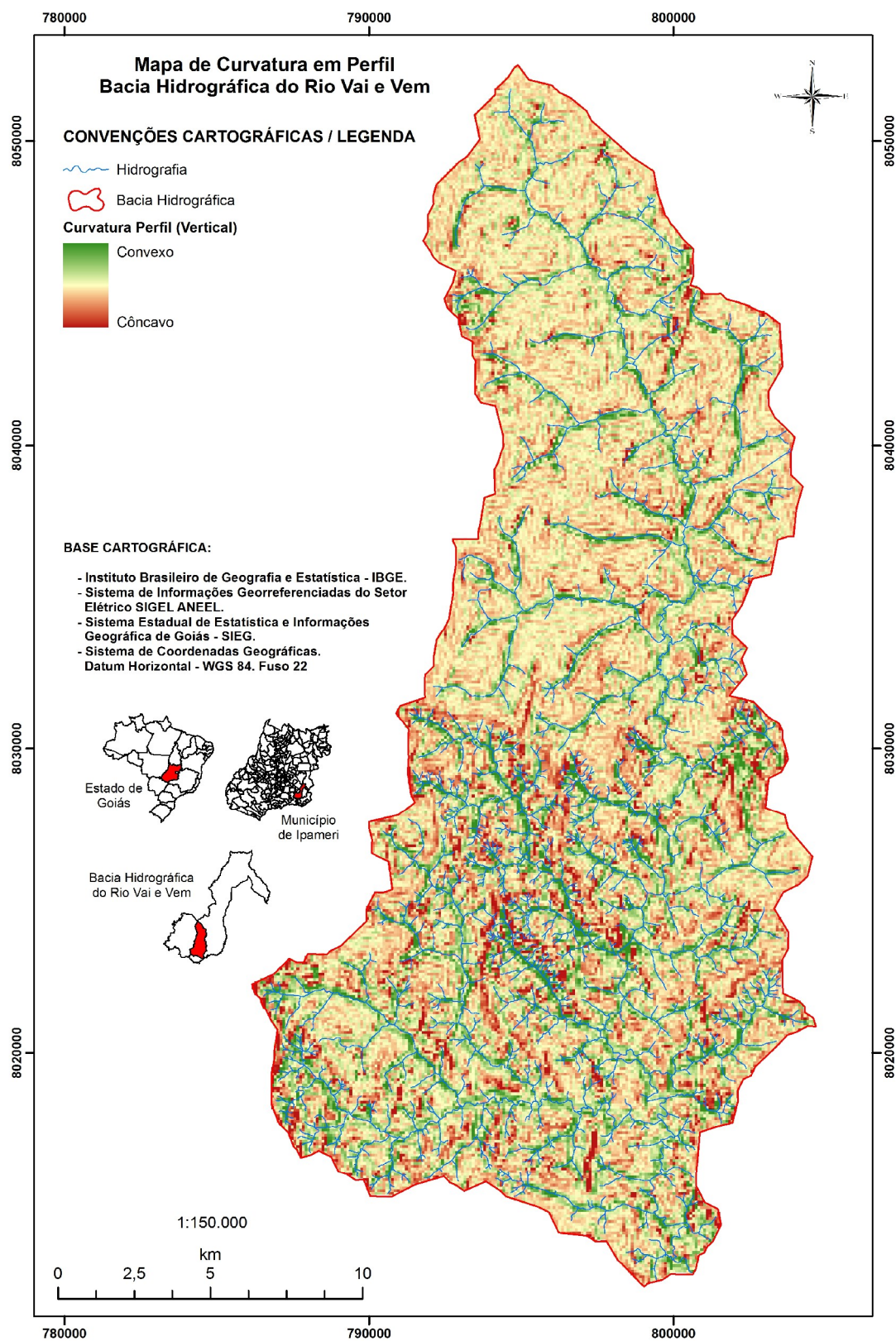
4.8. Avaliação das curvaturas

Os dados de curvatura são importantes na aceleração ou desaceleração do fluxo da água sobre o terreno, uma vez que, em relação aos processos atuais, trata-se de uma variável que está relacionada aos processos de migração e acúmulo de matéria (água) através da superfície proporcionada pela gravidade, portanto é um fator que influencia na erosão do solo.

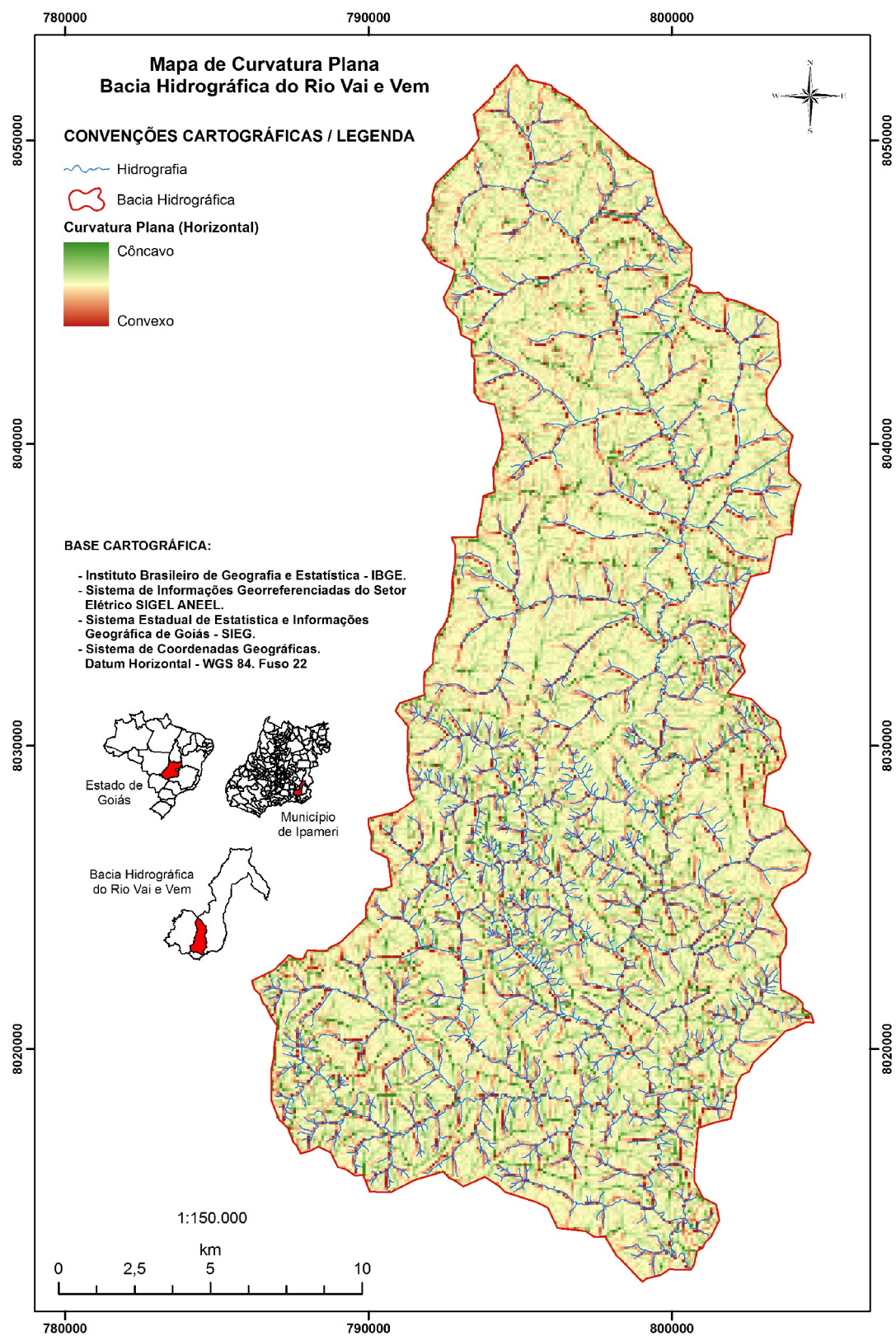
Os mapas de curvatura em perfil (vertical) e de curvatura plana (horizontal) foram elaborados a partir de um Modelo Digital de Terreno. As categorias dos mapas de curvatura foram definidas dividindo-se estas em: muito convexa, convexa, plana, côncava e muito côncava. Nessa etapa, os cálculos adotados pelo programa fornecem valores positivos ou negativos para as curvaturas côncavas e convexas e valores nulos para a curvatura plana.

As curvaturas das vertentes foram consideradas como parâmetros importantes para a ocorrência de voçorocas, sendo que foram atribuídos os valores de 20% para cada uma. Eles são importantes porque as voçorocas correlacionam-se fundamentalmente com as áreas mais côncavas das vertentes.

Mapa 9 - Bacia Hidrográfica do Rio Vai e Vem: Curvatura do perfil.
Elab.: Rocha (2011)



Mapa 10 - Bacia Hidrográfica do Rio Vai e Vem: Curvatura plana.
Elab.: Rocha (2011)



4.9. O mapa de suscetibilidade: apresentação dos resultados

Para a produção do modelo, foram utilizados os mapas temáticos dos parâmetros permanentes, estabelecendo-se as relações entre as variáveis ambientais condicionantes da ocorrência de voçorocas. Atribuíram-se valores a cada parâmetro, de acordo com a sua relevância no desenvolvimento desse processo erosivo, fazendo-se a combinação entre eles, e assim foi gerado o modelo de suscetibilidade à ocorrência de voçorocas.

Para geração do modelo, a fim de analisar a presença de voçorocas na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Vai Vem em Ipameri (GO), foi feito um levantamento de parâmetros relevantes ao processo de voçorocamento. Assim, ficou definido: a declividade, as formas de vertente (curvatura plana e perfil), os tipos de solos e o uso e ocupação dos solos.

Feita essa definição, foram atribuídos valores a cada parâmetro em cada uma de suas classes. Porém, a litologia não foi utilizada como parâmetro para a geração desse modelo, uma vez que o mapeamento geológico da região apresenta características generalizadas que não foram identificadas no local, dificultando a interpretação para a área.

4.9.1. Tipos de solo

As características que o solo apresenta influenciam no desencadeamento de voçorocas, e o seu estudo faz parte desta pesquisa. Para o modelo, esse parâmetro recebeu o maior valor. Tal fato se justifica devido à grande ocorrência de voçorocas em áreas com características semelhantes quanto ao tipo de solo. Atribuiu-se o maior valor àquele solo que apresenta características mais arenosas. Sendo assim, a distribuição dos valores ficou determinada da seguinte forma (Quadro 5):

Quadro 5- valores atribuídos a cada classe do mapa reclassificado

Tipos de Solo	Valores
Neossolos Quartzarênicos.	5
Cambissolos	3
Gleissolos	2
Hidromórficos	1
Latossolos	4

Org.: Rocha (2011).

De acordo com Conciani (2008), as características pedológicas de um solo têm muita influência sobre o seu potencial de erosão. O autor cita a granulometria como um meio indireto para caracterizar o solo quanto à sua erodibilidade, pois considera que “os solos de comportamento granular, com partículas da ordem de siltes e areias finas e com pouca quantidade de argila são os mais erodíveis” (CONCIANI, 2008, p.53).

Conciani menciona a relação textural entre os horizontes e a questão textural (conjunto granulometria e estrutura do solo) como aspectos pedológicos de destaque na erodibilidade, para tanto, fez uma classificação quanto ao índice de erodilidade (Quadro 6).

Quadro 6 - Relação da erodibilidade com a classe pedológica dos solos.

Classe	Índice de erodibilidade	Classe pedológica
1	8,1 – 10,0	Cambissolos; Neossolos; Alissolos; Espodossolos; Neossolos Quartzarênicos.
2	6,1 – 8,0	Luvissolos Crômicos
3	4,1 – 6,0	Argissolos; Latossolos vermelhos – amarelos de textura argilosa.
4	2,1 – 4,0	Latossolos de textura média; Argissolo vermelho escuro; Chernossolos.
5	0,0 – 2,0	Gleissolos; Neossolos aluviais e/ou Hidromórficos; Planossolos.

Fonte:Conciani (2008, p.54).

Org.: Rocha (2011).

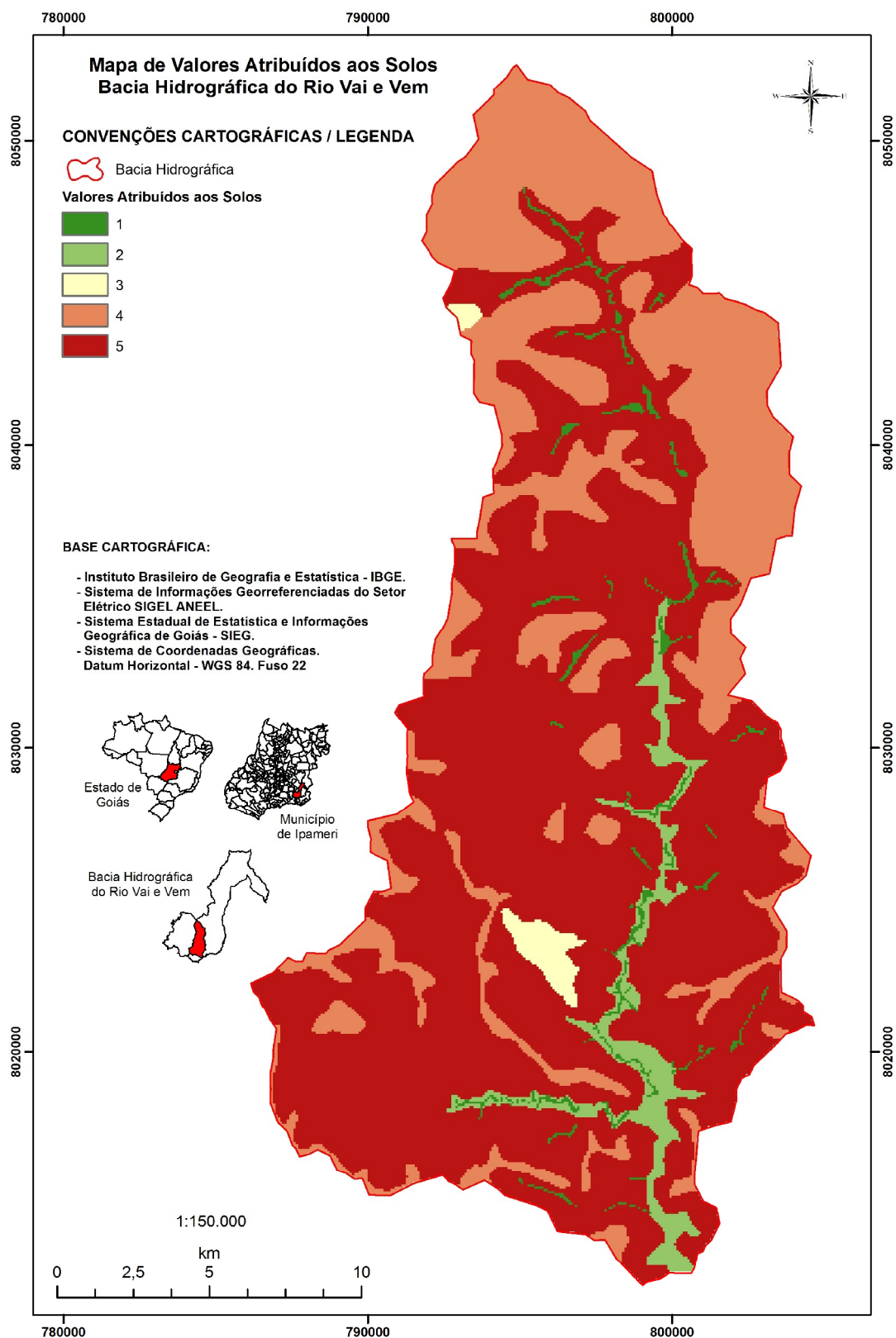
Grande parte da bacia (64,35%) apresenta solos com textura mais arenosa, classificado aqui como Neossolos Quartzarênicos, por possuir características mais arenosas, que de acordo com a tabela acima está entre os solos que apresentam os maiores índices de erodibilidade, área onde se tem a maior ocorrência de voçorocas na Bacia Hidrográfica do ribeirão Vai Vem. (Tabela 9).

Tabela 9 – Ipameri (GO) – Distribuição dos solos.

Classe	Área (ha)	Porcent. da bacia
Solos Hidromórficos	67750,08	1,63
Gleissolos	147705,10	3,55
Cambissolos	44511,78	1,07
Latossolos Vermelhos	1223966,23	29,41
Neossolos Quartzarênicos	2678225,72	64,35
TOTAL	4162158,91	100,00

Org: Rocha (2011).

Mapa 11 - Bacia Hidrográfica do Rio Vai e Vem: reclassificação dos solos.
Elab.: Rocha (2011)



4.9.2. Declividade

A declividade foi considerada como um dos parâmetros para gerar o modelo de suscetibilidade por se constituir em um atributo topográfico relevante no desenvolvimento de voçorocas, uma vez que, associado a outros atributos interfere na velocidade do fluxo superficial e subsuperficial da água, e com isso, no aumento do potencial erosivo. Neste sentido, pode-se destacar a declividade do terreno como um importante condicionante ao aparecimento de voçorocas. Para este parâmetro foram utilizados os seguintes valores (Quadro 7)

Quadro 7- Valores atribuídos aos declives.

Declives	Valores
< 2	1
2 – 5	3
5 – 8	4
8 – 11	5
11 – 18	5
18 – 30	3
30 - 45	2
> 45	1

Org.: Rocha (2011).

De acordo com os valores em graus apresentados no mapa de declives, foi adaptado o critério apresentado por Silva, Schulz e Camargo (2003) quanto à descrição do relevo conforme os intervalos da inclinação e a ocorrência de processos erosivos.

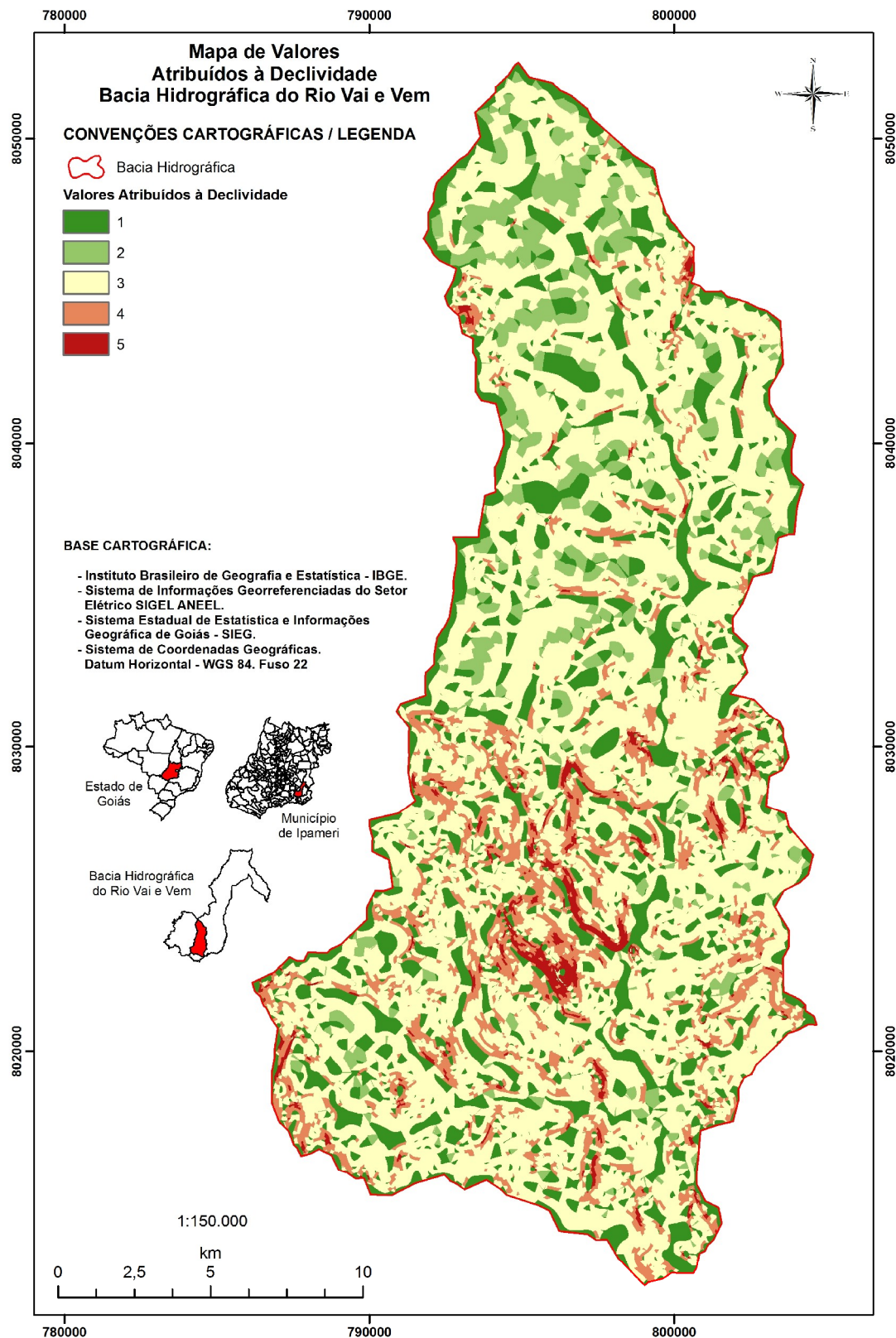
Quadro 8 - Descrição do relevo a partir da presença de voçorocas.

Declive	Nome atribuído	Caracterização	Suscetibilidade à erosão
< 2	Plano	Superfície com topografia horizontal, onde os desnivelamentos são muito pequenos.	Baixa
2 - 5	Suave ondulado	Topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas, apresentando declives suaves.	Média
5 - 8	Ondulado	Topografia movimentada, constituída por conjunto de colinas apresentando declives acentuados.	Alta
08 - 18	Forte ondulado	Topografia movimentada, formada por morros, com declives fortes.	Muito Alta

Org.: Rocha (2011).

Portanto, na bacia hidrográfica do Ribeirão Vai Vem, as voçorocas tendem a aparecer mais em áreas que apresentam relevo suave ondulado a ondulado. Neste contexto, para a confecção do modelo foram definidos pesos para cada parâmetro. Quanto a declividade determinou-se o peso maior para os intervalos de 8 a 18% o qual foram atribuído os maiores valores.

Mapa 12- Bacia Hidrográfica do Rio Vai e Vem: reclassificação da declividade.
Elab.: Rocha (2011)



4.9.3. Avaliação das curvaturas

As curvaturas das vertentes foram consideradas como parâmetros importantes para a ocorrência de voçorocas, sendo atribuídos os valores de 20% para cada uma, considerando-se a curvatura plana e o perfil. Esse valor deve-se ao fato da maior presença de voçorocas na concavidade das vertentes (Quadros 9 e 10).

Quadro 9 – Valores atribuídos a curvatura (perfil).

Curvatura Perfil	Valores
Côncava	4
Plano	3
Muito Côncava	5
Convexa	2
Muito convexa	1

Org.: Rocha (2011).

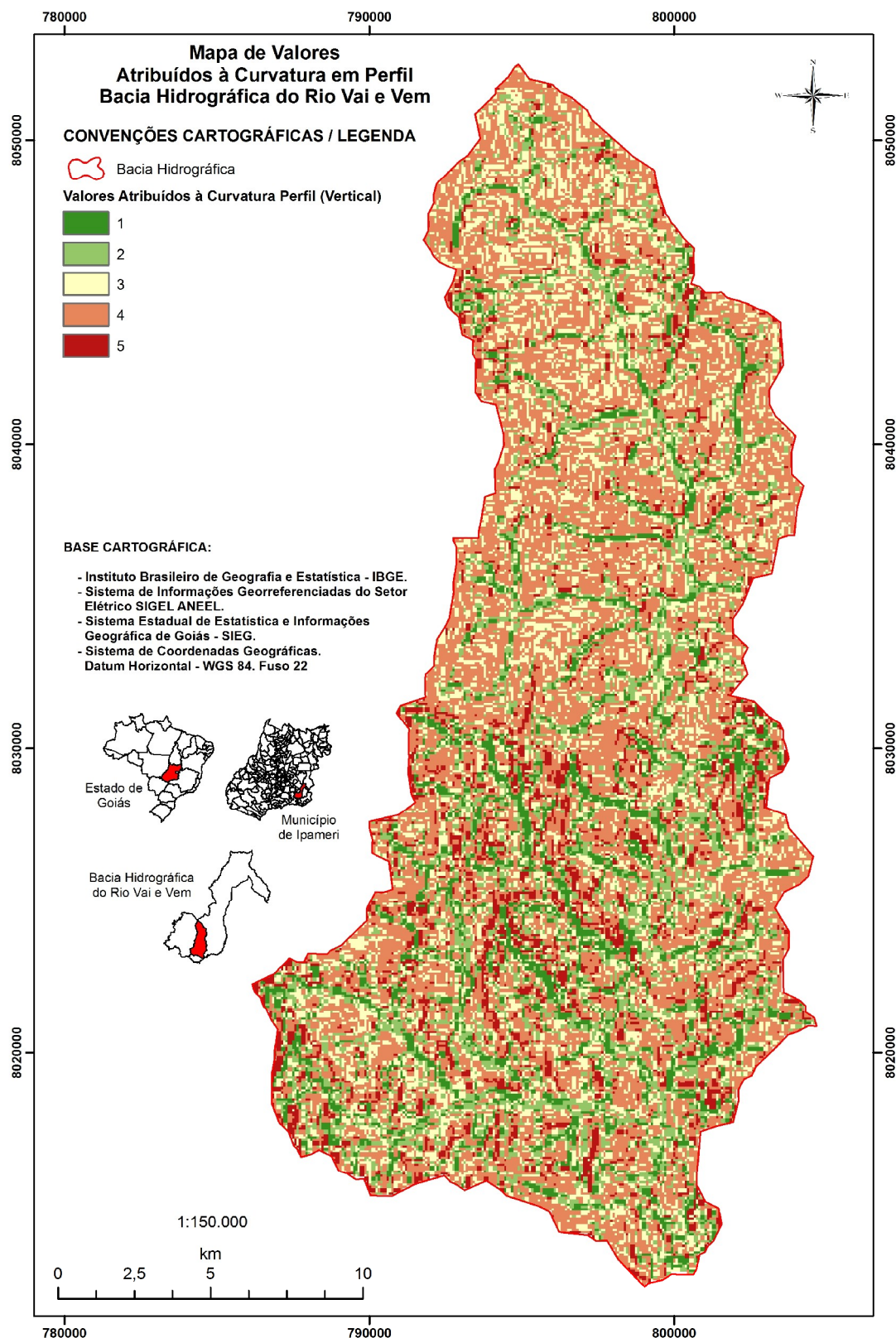
Quadro 10 - Valores atribuídos a curvatura (plana).

Curvatura Plana	Valores
Plana	3
Côncava	4
Convexa	2
Muito Côncava	5
Muito convexa	1

Org.: Rocha (2011).

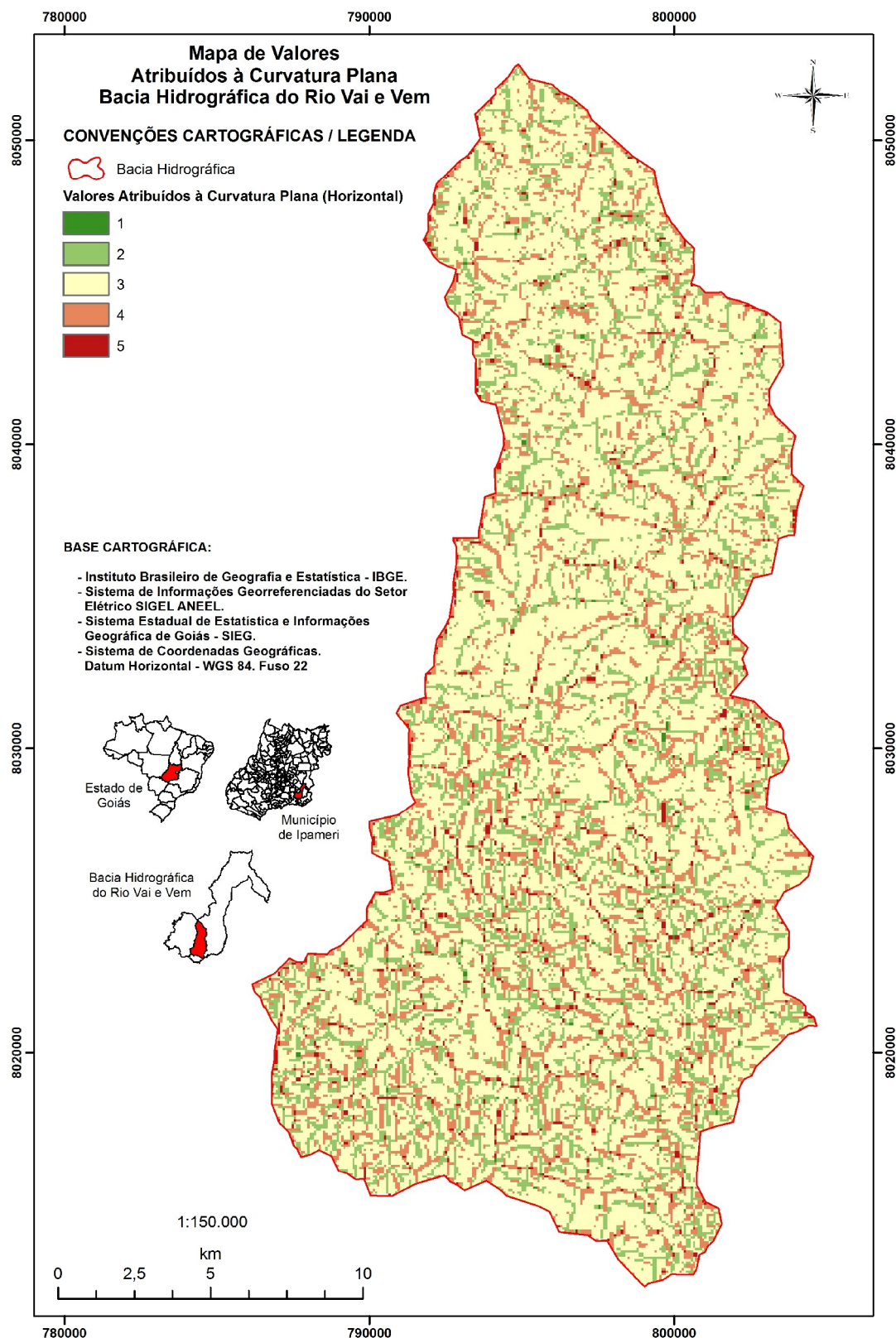
Mapa 13- Bacia Hidrográfica do Rio Vai e Vem: reclassificação da curvatura (perfil) da vertente.

Elab.: Rocha (2011)



Mapa 14- Bacia Hidrográfica do Rio Vai e Vem: reclassificação da curvatura (plana) da vertente.

Elab.: Rocha (2011)



4.9.3. Uso da terra

Quanto ao uso da terra, este foi classificado como um parâmetro de pequena relevância quanto à suscetibilidade, uma vez que não representa um fator determinante para a ocorrência de voçorocas. Foi-lhe atribuído um valor menor que 15%.

Para Silva, Shcultz e Camargo (2003, p. 21): “o fator cobertura do solo é de grande importância na prevenção e controle da erosão e dos agravamentos do processo erosivo”. Nesse sentido, vê-se que a ocorrência de voçorocas na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Vaim, de acordo com o uso e a ocupação do solo, destaca-se em termos de reativação dos processos de voçorocamento.

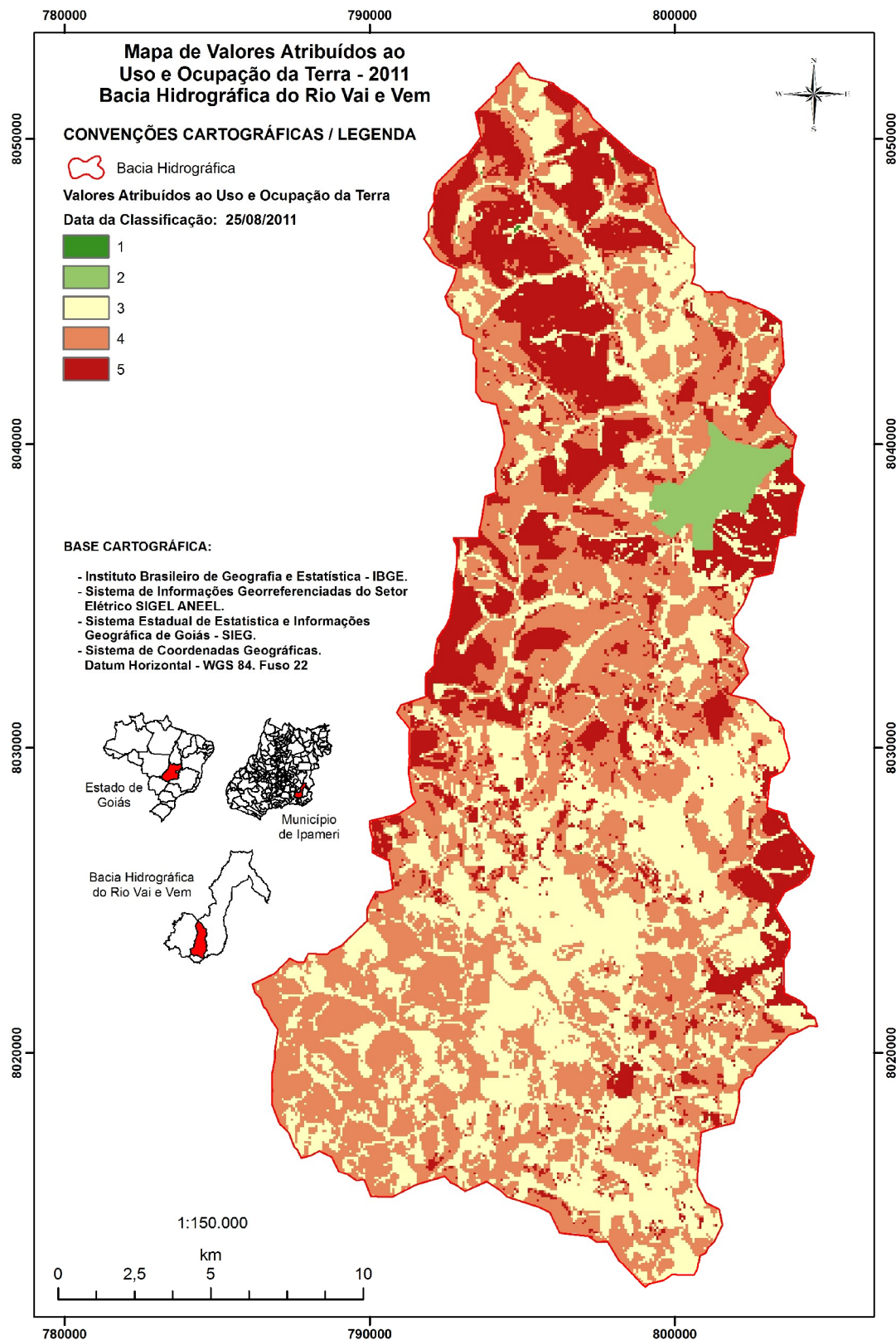
Com efeito, foi observado que quando se trata do uso da terra ligado a atividades antrópicas, foram pontuados diferentes locais em que as voçorocas foram reativadas devido à utilização da área, criando condições para o desenvolvimento do escoamento superficial, porém não descartando a ocorrência destas em áreas naturais, que surgiram a partir da ocorrência de processos naturais.

Quadro 11 – Valores atribuídos ao uso da terra.

Uso da terra	Valores
Cultura	4
Pastagem	3
Natural	5
Urbano	2
Curso d'água	1

Org.: Rocha (2011).

Mapa 15- Bacia Hidrográfica do Rio Vai e Vem: Reclassificação do uso da terra.
Elab.: Rocha (2011)



4.10 O mapa de suscetibilidade: a apresentação dos resultados

Para a produção do modelo, foram utilizados parâmetros estabelecendo relações entre variáveis ambientais que são condicionantes para a ocorrência de voçorocas. Assim, os valores atribuídos a cada parâmetro de acordo com a sua relevância no processo de voçorocamento possibilitaram a geração de um modelo de suscetibilidade para a ocorrência dessas incisões erosivas na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Vai-Vem. Foram dados os seguintes valores:

Quadro 12 - Atribuição de valores para o modelo

Parâmetros	Valores atribuídos no modelo
Declive	20 %
Uso da terra	15 %
Solos	25 %
Curvatura plana	20 %
Curvatura perfil	20 %

Org.: Rocha (2011).

Estes valores atribuídos resultaram em modelo de suscetibilidade a ocorrência de voçorocas na Bacia Hidrográfica do ribeirão Vai Vem, que foi validado em campo, nas áreas que apresentaram maior suscetibilidade. O quadro 13 apresenta os índices de suscetibilidade com base nos valores atribuídos a cada parâmetro.

Quadro 13 - Classes de suscetibilidade a ocorrência de voçorocas

Índices de suscetibilidade	Classificação da suscetibilidade
1	Muito baixa
2	Baixa
3	Média
4	Alta

Org.: Rocha (2011).

Para a determinação desses valores e a classificação quanto à suscetibilidade para a ocorrência de voçorocas a partir desses parâmetros, optou-se por considerar a bibliografia e a observação em campo sobre o processo de voçorocamento.

Foi considerado para a área de pesquisa o surgimento de voçorocas a partir de três situações:

- ✓ Através da exurgência do fluxo subsuperficial próximo à base da vertente, o que leva ao recuo destas.
- ✓ As voçorocas que surgiram a partir da ação do escoamento subsuperficial, através do aparecimento de dutos e *pipings* associados com as características físicas da área, principalmente aquelas referentes a declives e solos.
- ✓ As voçorocas que surgiram a partir da evolução de ravinas para voçorocas, através da reativação a partir do escoamento superficial, deixando de ser ravinas quando atingiram o lençol freático.

Observando o modelo de suscetibilidade para a ocorrência de voçorocas na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Vai-Vem (Mapa 15), vê-se que a área apresenta alta suscetibilidade à ocorrência desse processo erosivo, considerando todas as áreas com maiores índices de suscetibilidade.

Tabela 10– Classificação para suscetibilidade a ocorrência de voçorocas

Classificação da suscetibilidade	Áreas suscetíveis (ha)	%
1 – Muito baixa	3,83	0,01
2 - Baixa	1361,33	3,29
3 - Média	16090,13	38,91
4 – Alta	23833,74	57,63
5 – Muito Alta	65,71	0,16
TOTAL	41354,75	100,00%

Org.: Rocha (2011).

As áreas que apresentam índices mais elevados de suscetibilidade estão distribuídas por toda a bacia, o que foi validado em campo realizados no mês de novembro de 2011.

Foto 21 – Ipameri (GO): processos erosivos constatados na validação do modelo



Fonte: Rocha (2011).

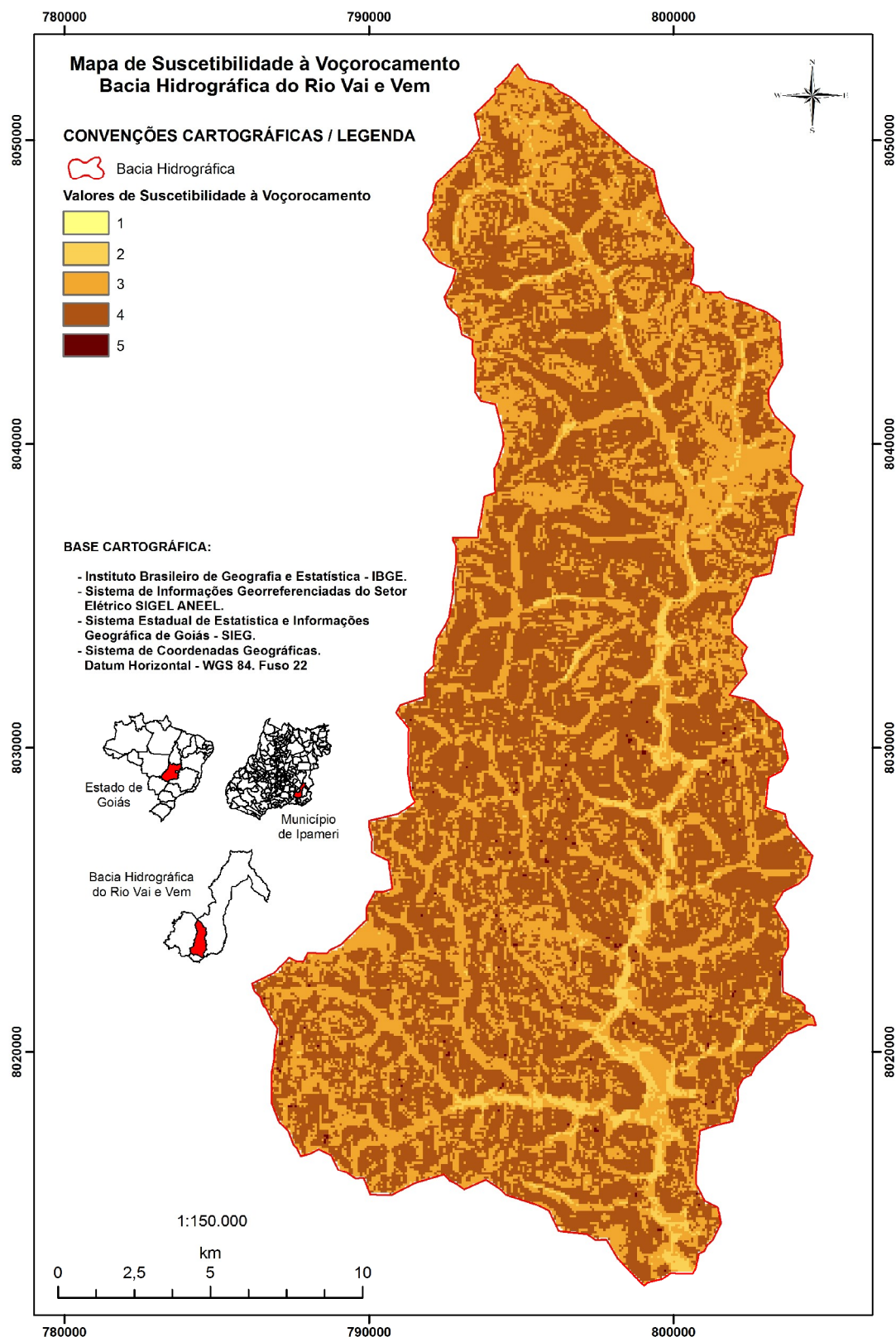
Foto 22 – Ipameri (GO): processos erosivos constatados na validação do modelo em área de alta suscetibilidade



Fonte: Rocha (2011).

Considerando os parâmetros utilizados, observa-se que o processo de voçorocamento está condicionado principalmente à suscetibilidade dos solos e do relevo. Assim, percebe-se que são áreas concavizadas com declives variando de 8 a 18 %, favorecendo a concentração de fluxos subsuperficiais e superficiais. E se a vertente é desmatada, o processo de voçorocamento é acelerado devido à formação dos fluxos concentrados a montante da voçoroca. Nesse caso, há uma conexão entre a formação de ravinas, evoluindo para voçorocas.

Mapa 16- Bacia Hidrográfica do Rio Vai e Vem: suscetibilidade à ocorrência de voçorocas.
Elab.: Rocha (2011)



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para estudar o processo de voçorocamento na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Vai-Vem, em Ipameri-GO, foram consideradas as características físicas da área, dando ênfase àquelas que possuem maior relevância no desenvolvimento desse processo erosivo. Para tanto, foram levadas em conta as formas de relevo, o entalhamento do sistema de drenagem, a forma das vertentes e a interação entre fatores como a declividade, as características litológicas, as características do solo, as características climáticas e a forma de uso da terra. Esses fatores e suas inter-relações é que determinam a suscetibilidade aos processos de voçorocamento nessa bacia hidrográfica.

Neste trabalho, as voçorocas foram definidas como incisões que têm a presença do fluxo permanente, e as ravinas como incisões sem a presença do lençol freático, observando também que nas voçorocas há a atuação tanto do fluxo superficial como do fluxo subsuperficial, enquanto as ravinas estão ligadas ao fluxo superficial.

Quanto à origem das voçorocas, foram consideradas três formas: a primeira seria a exsurgência do fluxo subsuperficial próximo da base da vertente, o que leva ao recuo destas; a segunda seria a evolução de ravinas para voçorocas; e a terceira seria através de um abatimento do solo, que pode ser originado por fluxos subsuperficiais e a existência de *pipings*.

As voçorocas, na área de pesquisa, estão associadas à dinâmica fluvial, enquanto as ravinas estão ligadas à dinâmica de vertentes. Assim sendo, na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Vai-Vem, as voçorocas são incisões conectadas ao sistema de drenagem e quase sempre relacionadas com canais de primeira ordem.

Não é descartada também a ação antrópica como fator de origem e evolução de voçorocas, uma vez que a retirada da cobertura vegetal para a prática de atividades desenvolvidas no uso da terra, principalmente para as atividades agropecuárias, cria condições

para a eclosão desse processo, visto que a falta da cobertura vegetal deixa o solo desprotegido e propicia a formação de fluxos superficiais concentrados que, associados a outras características locais, cria sulcos no solo que evoluem para ravinas e posteriormente, em alguns casos, para voçorocas. Na área em questão, a origem das voçorocas está mais associada às condições naturais, e a sua atual evolução ao desenvolvimento das atividades antrópicas no uso da terra.

Essas atividades levam ao aparecimento e desenvolvimento de ravinas, resultado da ação do fluxo superficial, iniciando com a concentração deste nas proximidades das vertentes. Após a saturação e a formação de poças, estas, unidas umas com as outras, formam o fluxo concentrado – associadas à forma da vertente e ao declive, uma vez que o solo se encontra desprotegido – e iniciam e aceleram o processo de ravinamento provocado pelo arraste e transporte de partículas. Esses processos confluem para as voçorocas, reiniciando, muitas vezes, o seu processo de evolução.

No trabalho de campo, foram encontradas voçorocas com níveis de desenvolvimento diferenciados, que classificamos como ativas ou estáveis. Tal fato se justifica, visto que as incisões apresentam situações em que ocorrem processos que possibilitam a sua evolução, neste caso, sendo classificadas como ativas.

Porém, não há como considerar que essas incisões sejam resultado apenas da interferência das atividades antrópicas, já que muitas delas são anteriores ao início da atividade de desmatamento. O fato de quase todas se encontrarem ligadas à rede de drenagem através dos canais de primeira ordem leva-nos a considerar a hipótese de essas formas serem importantes elementos de interação entre a dinâmica fluvial e a dinâmica de vertentes. A realçar essas ideias foram observadas no trabalho de campo voçorocas que não apresentam processos de evolução rápidos. São incisões que apresentam uma vegetação mais desenvolvida, o que funciona como proteção ao destacamento e facilita a infiltração, portanto

diminuindo o escoamento concentrado e o arraste de partículas, o que reforça a ideia de serem formas instaladas antes do desmatamento verificado pela atuação do homem.

Para a geração do modelo de suscetibilidade, foram trabalhados parâmetros considerados relevantes para a ocorrência de voçorocas, aos quais foram atribuídos valores de acordo com a sua influência no processo erosivo. Assim, foram analisados os seguintes parâmetros: declividade, formas das vertentes, solo e uso da terra, os quais estão representados através de mapas temáticos que foram combinados resultando em um produto final, que é o mapa de suscetibilidade à ocorrência de voçorocas na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Vai-Vem (Ipameri-GO). Com a análise do modelo e sua validação em campo, foi possível fazer algumas observações quanto à associação das características locais que contribuem para a ocorrência das voçorocas. O modelo demonstra que existe uma suscetibilidade elevada ao voçorocamento, destacando que as áreas de maior suscetibilidade relacionam-se com os tipos de solos areno-argilosos e com as áreas de maior concavidade das vertentes.

Assim, particularidades como as características do solo associadas ao uso da terra são fatores importantes na evolução das voçorocas, uma vez que, se os solos apresentam textura mais arenosa, mas estão recobertos por vegetação, essa cobertura vegetal refreia o impacto das gotas de água, enquanto uma boa porosidade e a permeabilidade do solo permitem a infiltração de grande parte da água precipitada. Consequentemente, sua capacidade erosiva natural é minimizada e ele passa a funcionar como um reservatório de água em superfície.

Com a observação em campo e a validação do modelo, não se pode dizer que as voçorocas classificadas como estáveis não estejam evoluindo, pois mesmo que o escoamento superficial não seja atuante, não deve ser desconsiderada a ação do fluxo subsuperficial.

As voçorocas identificadas em campo e classificadas como ativas têm uma grande ocorrência tanto em áreas rurais – em que são praticadas atividades agrícolas – como em áreas destinadas a pastagens, onde também estão presentes.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA FILHO, G. S.; SANTORO, J.; GOMES, L. A. Estudo da dinâmica evolutiva da boçoroca São Dimas no município de São Pedro, SP. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, 1., 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: GEDN/UFSC, 2004.
- ANJOS, D, et al. Vulnerabilidade Geomorfológica associada à existência de cicatrizes de movimentos de massa no município de Cubatão – SP.. In: ENCONTRO DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS, 5., 2011. **Anais...** São Paulo: UNESP, 2011.
- ARAÚJO, G. H. S., ALMEIDA, J. R., GUERRA, A. J. T. **Gestão Ambiental de Áreas Degradadas**. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil. 2006.
- AUGUSTIN, C. H. R. R.; ARANHA, P. R. A. A ocorrência de voçorocas em Gouveia, MG: características e processos associados. **Geonomos**, v. 14, n. 1, p. 75-86, 2006.
- BACCARO, C. A. D. Processos Erosivos no Domínio do Cerrado. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. G. M. (Orgs.). **Erosão e Conservação dos Solos**: Conceitos, Temas e Aplicações. 1 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999, v. 1, p. 01-337.
- BELTRAME, A. V. **Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas**: modelo e aplicação. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1994.
- BENDA, F. Modelagem digital de terrenos aplicada a elaboração de mapas temáticos. In: WORKSHOP DE COMPUTAÇÃO CIENTÍFICA DA UENF, 2., 2006, **Anais...** Campos dos Goytacazes, UENF, 2006.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 1999.
- BIGARELLA, J. J. **Conceitos Fisiograficos Fundamentais**: Ed. da UFSC, 1990.
- BIGARELLA, J. J. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2003, v. 3.
- BOTELHO, R. G. M. Planejamento ambiental em microbacia hidrográfica. In: GUERRA, A. J. T; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Org.). **Erosão e conservação dos solos**: conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

BRAUN, O. P. G.; BAPTISTA, M. B. Considerações sobre a geologia pré-Cambriana da região Sudoeste e parte da região Centro Oeste. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29., 1976, Ouro Preto. **Resumos...** Belo Horizonte: SBG, 1976. p. 27-28.

CARVALHO, J. C. **Processos Erosivos no Centro-Oeste Brasileiro**. Brasília: Universidade de Brasília: FINATEC, 2006.

CASSETI, V. **Ambiente e apropriação do relevo**. São Paulo: Contexto, 1991.

CASSETI, V. **Geomorfologia**. [2005]. Disponível em:

<<http://www.funape.org.br/geomorfologia>> . Acesso em: 01 mar. 2011.

CASTRO, A. G. **Técnicas de sensoriamento remoto e sistemas geográficos de informações no estudo integrado de bacias hidrográficas**. São José dos Campos: INPE, 1992.

CHEREM, L. F. S. **Análise morfométrica da Bacia do Alto do Rio das Velhas – MG**. 2008. 110 f. Dissertação (mestrado em Geociências) –, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blucher, 1980.

_____. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Blucher, 1999.

COELHO NETTO, A. L. Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T., CUNHA, S. B. da (Org.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995.

_____. Evolução de Cabeceiras de Drenagem no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul (SP/RJ): A Formação e o Crescimento da Rede de Canais sob Controle Estrutural. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, ano 4, n. 2. p. 69-100, 2003.

CONCIANI, W. **Processos Erosivos: conceitos e ações de controle**. Cuiabá: CEFET – MT, 2008.

CUNHA, S. B. da; GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia do Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

CUNHA, B. C. C. (Org). **Projeto Bacia Hidrográfica do ribeirão Vai Vem – Ipameri/GO**. 2009.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (DAEE). **Controle de Erosão**. 2. ed. São Paulo: IPT, 1989.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa em Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa produção de informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999.

FENDRICH, R. (Org.) **Drenagem e Controle da Erosão Urbana**. 4. Ed. Curitiba: Universitária, 1997.

FERREIRA, I. M. **O afogar das veredas**: uma análise comparativa espacial e temporal das veredas do chapadão de Catalão (GO). 2003. 242 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2003.

FILHO, B. S. S. **Modelagem de dados espaciais**. Departamento de Cartografia. UFMG. 2000.

FILHO, J. L. e IOCHPE, C. Modelagem de Bancos de Dados Geográficos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 20., 2001. **Anais....**, 2001

FLORENZANO, T. G.(Org.). **Geomorfologia**: conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: Oficina de Texto, 2008.

GUERRA, A. J. T. **Ravinas**: processo de formação e desenvolvimento. In: ANUÁRIO do Instituto de Geociências. 1997. v. 20.

GUERRA, A. J. T (Org.) **Geomorfologia Urbana**. 1. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

GUERRA, A. J. T; CUNHA, S. B. da. (Org.) **Geomorfologia**: uma atualização de bases e conceitos. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da e BOTELHO, R. G. M. O Início do Processo Erosivo. In: **Erosão e Conservação dos Solos** – Conceitos, Temas e Aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

GUIDICINI, G. e NIEBLE, C. M. 1984. **Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação**. São Paulo: 2a ed. Edgard Blücher,. 194p.

GREGORY, K. J.; WALLING, D. E. **Drainage Basin Form and Process**. A Geomorphological Approach. 1 ed. London: Edward Arnold, 1973.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – **INMET** - 10º Distrito de Meteorologia de Goiânia - GO. 2011.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **Orientações para o combate à erosão no Estado de São Paulo, Bacia do Peixe - Paranapanema**. São Paulo, 1986. Relatório. 6 v.

KLEIM, P. B. W. **A evolução do uso do solo e suas conseqüências para o meio ambiente na região do Complexo Ultramáfico-Alcalino-Carbonatítico de Catalão I**. 1996. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília. 1996.

LEITE, M. E. **Geotecnologias aplicadas ao mapeamento do uso do solo urbano e da dinâmica de favela em cidade média: o caso de Montes Claros-MG**. 2011. 287 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011.

LEOPOLD, L. B., M.; WOLMAN, G. MILLER, J. P. **Fluvial processes in geomorphology**,. SAN FRANCISCO. 1995.

LIMA, W. P. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas**. 2. ed. 2008.

LORANDI, R.; CANÇADO, C. J. Parâmetros físicos para gerenciamento de bacias hidrográficas. In: SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações**. Ilhéus: Editus, 2002.

MAGALHÃES, R. A; FURTADO, G. O. **Erosão e formas de controle**. Belo Horizonte: CEMIG, 2001.

MENDES, E. P. P. O. Ocupação e Produção no Cerrado Goiano: do sec. XVIII ao XX. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SAVANAS TROPICAIS, 2., **Anais....**, Goiania, 2008.

MENDES, C.; FERREIRA, O. **Manual técnico de microbacias hidrográficas**. EMPAER: Cuiabá, 2000.

MIRANDA, J. G. **Mapeamento Geotécnico e estudo da susceptibilidade a erosão na bacia do Ribeirão Ponte de Pedra (MT)**, escala 1:100.000, 2005.269 f. Tese (Doutorado em Geotecnia) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

MORA, V. B. **Morfometria da bacia hidrográfica do rio Bobo no Estado de Nariño, Colômbia**. 2008. 56 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2008.

MORGAN, R. P. C. **Soil erosion and conservation**. 2005.

OLIVEIRA, M. A. T. Processos erosivos e preservação de áreas de risco de erosão por voçorocas. In: **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

PEREIRA, V. P. **Solo: manejo e controle de erosão hídrica**. Jaboticabal: FCAV, 1997.

PINTO JÚNIOR, O. B.; ROSSETTE, A. N. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica. **Geoambiente**, Jataí, n. 4, jan/jun 2005.

PIRES, J. S. R.; SANTOS, J. E. dos; PRETTE, M. E. A utilização do conceito de bacia hidrográfica para a conservação dos recursos naturais. In: SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações**. Ilhéus: Editus, 2002.

PISSARRA, T. C. T.; POLITANO, W.; FERRAUDO, A. S. Avaliação de características morfométricas na relação solo-superfície da Bacia Hidrográfica do Córrego Rico. **Revista Brasileira Ciências do Solo**, Jaboticabal, v. 28, n. 2, 2004.

RENNÓ, C. D. **Construção de um sistema de análise e simulação hidrológica: aplicação a bacias hidrográfica**. 2004. 146 f. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2003. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/jeferson/2003/06.10.13.53>>. Acesso em: 17 set. 2011.

ROCHA, E. A. V. **Avaliação do processo evolutivo e da dinâmica erosiva: um estudo de caso no município de Ipameri-GO**. 2007. 101 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007.

_____. **Aspectos da disposição final dos resíduos sólidos urbanos em Ipameri-GO**. Ipameri, 2009. 40 f. Relatório apresentado a Prefeitura Municipal de Ipameri.

ROSS, J. L. S.; DEL PRETT, M. E. Recursos hídricos e as bacias hidrográficas: âncoras do planejamento e gestão ambiental. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo. n. 12, 1988.

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

_____. **Geomorfologia**: ambiente e planejamento. 7. ed. São Paulo: Contexto, 2003.

SALOMÃO, F. X. T., IWASA, O. Y. Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente. In: Erosão e a ocupação rural e urbana. São Paulo: ABGE – IPT, 1995. p.31-57.

SILVA, A. M.; SCHULZ, H. E.; CAMARGO, P. B. **Erosão hidrossedimentologia em bacias hidrográficas**. São Carlos: Rima, 2003.

SILVA, A. M. et al. Rainfall erosivity and erodibility of Cambisol (Inceptisol) and Latosol (Oxisol) in the region of Lavras, Southern Minas Gerais State, Brazil. **Revista Brasileira Ciências do Solo**, Jaboticabal, v. 33, n. 6, 2009.

SILVA, J. X. da.; CALHEIROS, S. Q. Geografia, análise ambiental e geoprocessamento: um esboço teórico. In: ARAÚJO, L. M. (Org.). **Geografia, espaço, tempo e planejamento**. Maceió: Ed. da UFAL, 2004.

SILVEIRA, C. T. da. **Análise digital do relevo na predição de unidades preliminares de mapeamento de solos**: integração de atributos topográficos em sistemas de informações geográficas e redes neurais artificiais. Curitiba, 2010.

SOARES, J. V. Erosão e sedimentação e sua relação com florestas. In: _____. **Introdução à hidrologia de florestas**. INPE, 2004.

SOARES, L. F. C. **Análise morfométrica da Bacia do Alto do Rio das Velhas - MG**. 2008. 110 f. Dissertação- Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.

STABILE, R. A.; VIEIRA, B. C. Distribuição das feições erosivas da Bacia Água da Faca, Piratininga (SP): uma análise geomorfológica preliminar. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 7., 2008, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: UGB, 2008.

TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia**: ciência e aplicação. 2. ed. Porto Alegre: Ed. da Universidade, 1997. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v. 4).

VALERIANO, M. M. Curvatura vertical de vertentes em microbacias pela análise de modelos digitais de elevação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 3, 2003.

_____. **Topodata**: Guia para utilização de dados geomorfológicos locais. São José dos Campos: INPE, 2008.

VALERIANO, M. M.; CARVALHO JÚNIOR, O. A. Geoprocessamento de modelos digitais de elevação para mapeamento da curvatura horizontal em microbacias. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 4, n.1, 2003.

VERVLOET, R. J. H. M. **Condicionantes morfológicos e estruturais na dinâmica fluvial da bacia hidrográfica do Rio Benevente – Espírito Santo**. 2009. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

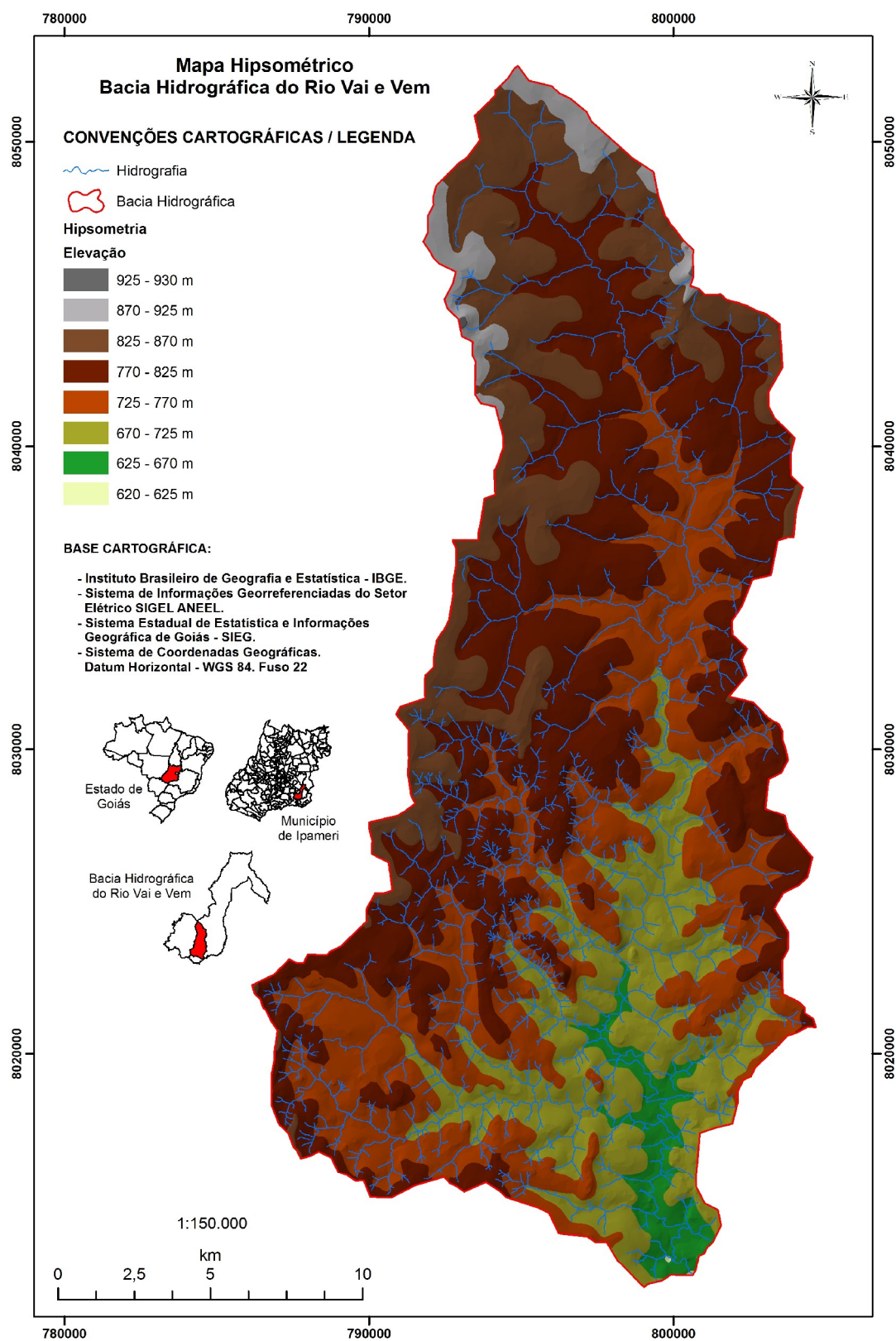
VELOSO, A. J. G. Importância do Estudo das Vertentes. **Geographia**. v.8, n.8, 2002

VIEIRA, A. F. G. **Desenvolvimento e distribuição de voçorocas em Manaus (AM): principais fatores controladores e impactos urbanos ambientais**. 2008. Tese (Doutorado em Geografia) - Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

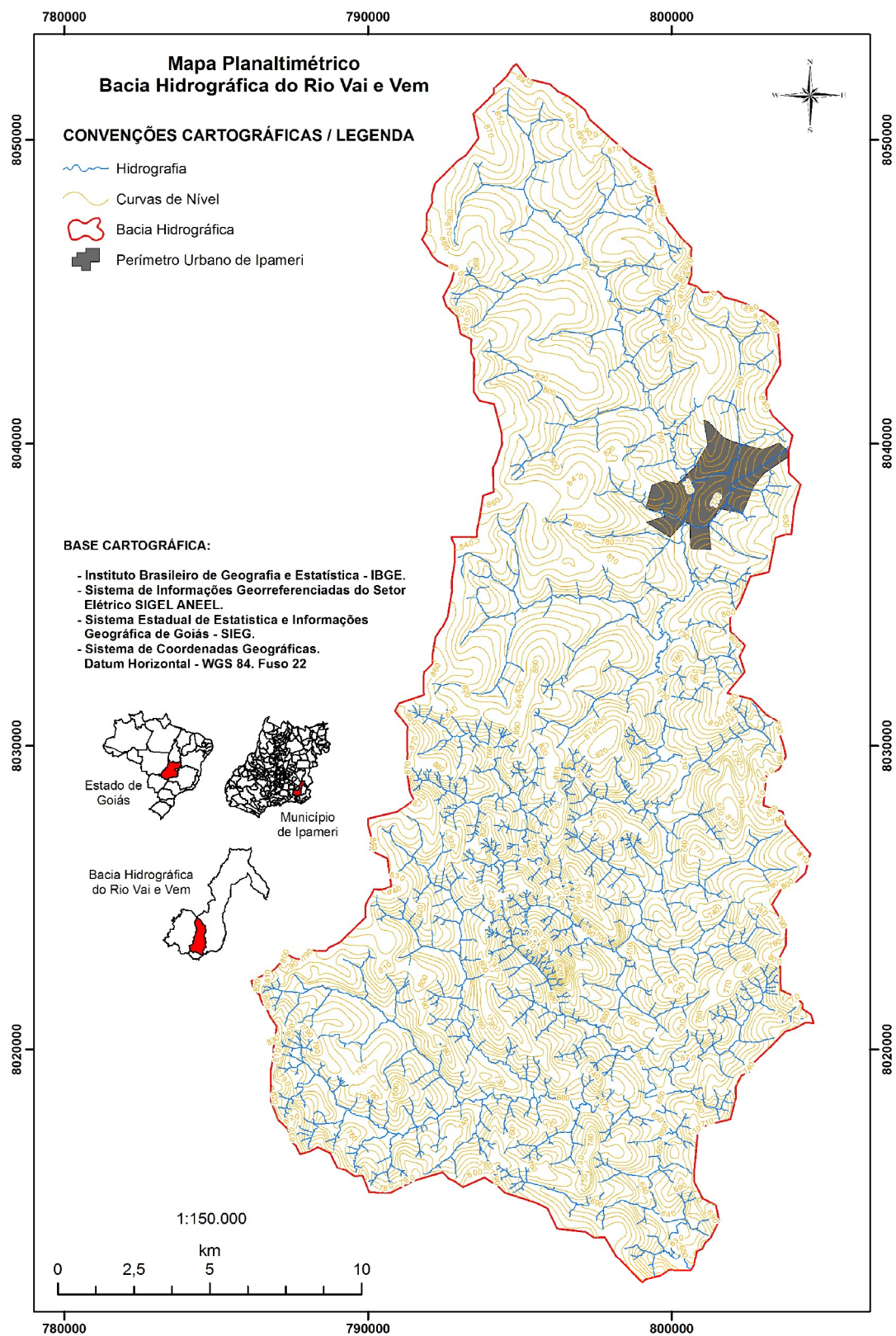
VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: Mcgraw-Hill do Brasil, 1975.

ANEXOS

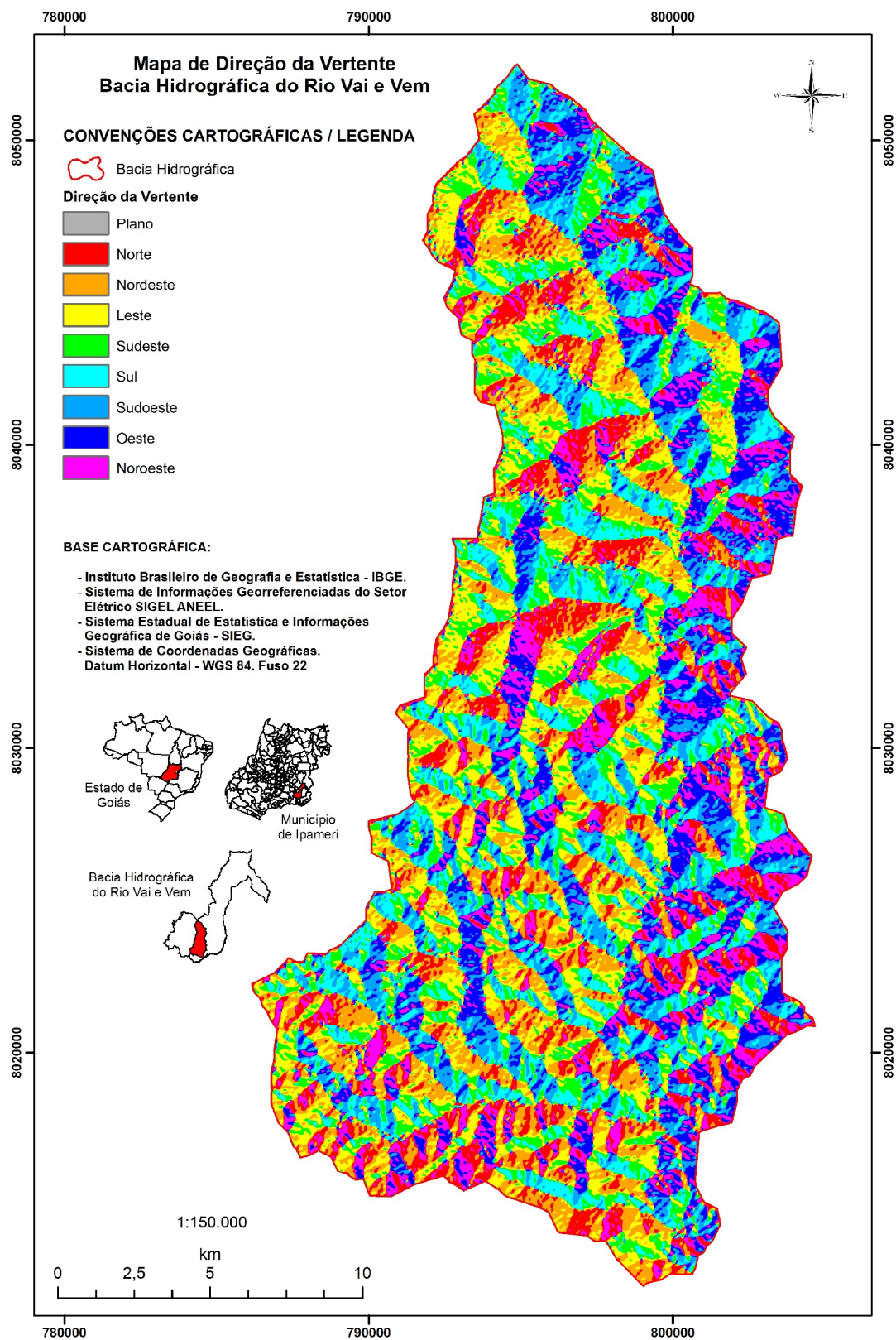
Mapa 01 A- Bacia Hidrográfica do Rio Vai e Vem: mapa hipsométrico
Elab.: Rocha (2011)



Mapa 02 A- Bacia Hidrográfica do Rio Vai e Vem: mapa planialtimétrico
Elab.: Rocha (2011)



Mapa 03 A- Bacia Hidrográfica do Rio Vai e Vem: mapa direção de vertente
Elab.: Rocha (2011)



This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.
This page will not be added after purchasing Win2PDF.