

Pablo de Azevedo Rocha

DIAGNÓSTICO DE ÁREAS SUSCEPTÍVEIS À EROSÃO
Uma análise da Bacia do rio Xopotó (MG)

VIÇOSA/MG - BRASIL
NOVEMBRO/2009

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, LETRAS E ARTES
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
CURSO DE GEOGRAFIA**

Pablo de Azevedo Rocha

**DIAGNÓSTICO DE ÁREAS SUSCEPTÍVEIS À EROSÃO
Uma análise da Bacia do rio Xopotó (MG)**

Monografia apresentada à disciplina
GEO 481 Monografia e Seminário, do curso
de Geografia da Universidade Federal de
Viçosa, como requisito parcial para aprovação
na disciplina.

VIÇOSA/MG - BRASIL
NOVEMBRO/2009

Pablo de Azevedo Rocha

DIAGNÓSTICO DE ÁREAS SUSCEPTÍVEIS À EROSÃO
Uma análise da Bacia do rio Xopotó (MG)

Monografia defendida e aprovada em Novembro de 2009 pela banca examinadora

Prof. Carlos Ernesto Schaefer
Departamento de Solos/UFV
(Orientador)

Prof. André Luiz Lopes de Faria
Departamento de Geografia/UFV
(Co-orientador)

Prof. Leandro Dias Cardoso
Departamento de Geografia/UFV

DEDICATÓRIA

Dedico esta monografia primeiramente a Deus, por me dar força, conforto nos momentos difíceis e o dom de existir. Agradeço, ainda, a Deus por ter a oportunidade de estudar a incrível, complexa e perfeita dinâmica da natureza, obra de um arquiteto. Não é à toa que o salmista exclama: “Os céus imensos narram a glória do grande Deus, e o firmamento anuncia a obra de suas mãos. Um dia ao outro transmite a mensagem, e uma noite a outra comunica a notícia” (Salmo 19, 1-3).

Dedico aos meus pais, Ademir e Adelma, que me ajudaram muito ao longo da vida e só me passaram bons valores com os quais estou colhendo ótimos frutos, a toda a minha família em especial aos meus tios Romildo, Arnaldo, Agnaldo, verdadeiros guerreiros, nos quais procuro me espelhar e as minhas tias Geusa e Francisca, (minhas mães), minha irmã, Amanda e ao meu sobrinho Gabriel e é claro a minha grande companheira, minha querida e amada esposa Edivânia e em fim a principal razão do meu viver, meu anjo chamado Natália, te amo minha filha!

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, pelo esforço em me tornar um bom ser humano e a me dar uma educação de qualidade.

A minha esposa e minha filha pelo apoio e paciência nessa longa jornada, graças a Deus formamos uma bela família.

A minha irmã e sobrinho, pelo amor.

Ao professor Carlos Ernesto, meu orientador, pela oportunidade de realização do presente trabalho, pelos valiosos ensinamentos, não só acadêmicos, mas também profissionais e humanos, apesar da pouca convivência, sou fã desse cara!

Ao professor André, meu co-orientador, pela amizade, pelos conselhos e diversas ajudas ao longo do curso. Um ser humano fora de série, verdadeiro e de alma limpa.

Ao professor Elpídio, por ceder o LabGeo para a realização do trabalho, além do empréstimo de equipamentos.

Ao pessoal do Laboratório de Microbiologia de Anaeróbios, pela força e momentos de descontração.

Ao professor Hilário, pela confiança em meu trabalho no Departamento de microbiologia (DMB) e pela bolsa de apoio técnico que me cedeu.

As professoras Flávia e Cristina, pelos conselhos ao longo desses cinco anos de trabalho no DMB.

Ao professor Maurício (DMB), pelos conselhos, palavras de conforto e pela amizade que estamos construindo, um ser humano exemplar.

A secretária do DMB Laura, pela ajuda em vários momentos.

Ao pessoal da Padaria Unida, que virou uma casa para mim aqui em Viçosa.

Aos amigos Orango, Virgínio, Sapão e Seu Paulo (meu pai negro) Livia (minha mãe negra), pelo apoio e amizade.

Ao pessoal do grupo do estudo bíblico (Maurício, Paulo e Cláudia), pelos momentos de paz e alegria.

A Maola e sua Família, pela acolhida nos trabalhos de campo.

A Diego Loureiro, Bruno Resck, Samuel Andrade, Giovane, Guilherme, Diogo pela ajuda fundamental na elaboração da monografia e aos outros integrantes do LabGeo.

Ao pessoal do Líder Futebol Clube, por terem me recebido de braços abertos em Viçosa.

Ao meu cunhado, Emerson, pela ajuda na monografia e por estar sempre pronto a ajudar.

Ao Luiz Carlos da CPD, pelas palavras de apoio e conforto.

Ao amigo Leandro Roque por toda ajuda na monografia e ao longo do curso.

A todos os colegas de Viçosa e do curso de Geografia.

A todos os amigos de infância e adolescência em Praia de Itapoã (ES), em especial ao pessoal do Surf e do Futebol, pelos fantásticos momentos vividos.

Ao grande amigo que perdi esse ano, José Reinaldo Coelho, valeu cara você foi demais, a onde quer que esteja um grande abraço.

Em fim a todos os meus familiares e amigos.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE TABELAS	viii
RESUMO	x
1 - INTRODUÇÃO	11
2 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	13
2.1 - Localização.....	13
2.2 - Solos	15
2.3 - Substrato Geológico	16
2.4 - Clima	16
2.5 - Histórico do uso e ocupação	17
2.6 - Vegetação	18
3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
3.1 - Solo e erosão	19
3.2 - Processo Erosivo	20
3.2.1 - Fatores que influenciam a erosão.....	24
3.3 - Bacia Hidrográfica no contexto da erosão dos solos	30
3.4 - Solo como estratificador da paisagem	32
3.5 - Sistema de Informação Geográfica	34
5 - MATERIAIS E MÉTODOS	36
5.1 - Procedimentos	36
5.2.1 - Elaboração dos mapas	37
5.2.2 - Análise Multi-critério.....	39
5.2.3 - Trabalho de Campo	42
6 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
6.1 - Critérios.....	45
6.1.1 - Declividade.....	45
6.1.2 - Solos	47
6.1.3 - Uso e ocupação.....	49
6.1.4 - Fluxo acumulado de água.....	51
6.1.5 - Fragilidade Ambiental.....	53
6.1.6 - Pontos de erosão.....	53
6.2 - Descrição de eventos locais.....	56
7 - CONCLUSÕES.....	62
8 - REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	63
ANEXO - FOTOS	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01 - Pedogênese x Erosão.	20
Figura 02 - Impacto da água de chuva na superfície do solo.	21
Figura 03 - Intensidade de chuva, taxa de escoamento superficial e capacidade de infiltração para uma chuva artificial de intensidade constante em parcela experimental.....	25
Figura 04 - Infiltração: A – Curva típica de infiltração e enxurrada; B – A parte hachurada do histograma de chuva é o que se pode esperar como enxurrada; C – A linha pontilhada representa o máximo de irrigação que se pode aplicar no local considerado.....	25
Figura 05 - Componentes da interceptação: P é precipitação; ET é evapotranspiração; A_s é armazenamento nas copas, A_t é atravessamento nas copas; e F_t é fluxo de troncos.	28
Figura 06 - Evolução do uso da bacia hidrográfica como célula de análise durante as duas últimas décadas.....	32

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 01 - Composição do ar e do solo atmosférico.....	19
Tabela 02 - Classificação dos fatores de degradação das terras.....	23
Tabela 03 - Agentes e tipos de erosão.	23
Tabela 04 - Efeito do comprimento de rampa sobre as perdas da erosão. Médias na base de 1.300 mm de chuva e declives entre 6,5 e 7,5%.....	26
Tabela 05 - Relacionamento Geral entre as Pedoformas Côncavas e Convexas e Aspectos Ligados à Erosão.	27
Tabela 06 - Taxa de infiltração constante (mm/h) em diferentes tipos de solo sob floresta e uso agrícola.....	28
Tabela 07 - Grau de fragilidade dos tipos de solo.....	29
Tabela 08 - Tendência de erodibilidade do solo.....	30
Tabela 09 - Classes de declividade e grau de fragilidade.....	40
Tabela 10 - Classes de Fluxo acumulado de água e grau de fragilidade.....	41
Tabela 11 - Classe e associação de Classes de solo e Grau de Fragilidade.....	41
Tabela 12 - Classes de Uso e Ocupação e Grau de Fragilidade.	41
Tabela 13 - Classe de fragilidade e Grau de Fragilidade.....	42
Tabela 14 - Declividade, área em relação a bacia, grau de fragilidade.	45
Tabela 15 - Classes de Solos, área, área em relação à bacia, grau de fragilidade.	47
Tabela 16 - Uso ocupação, área em relação à bacia, grau de fragilidade.....	49
Tabela 17 - Classes de pixels de contribuição e grau de fragilidade.....	51
Tabela 18 - Classe de fragilidade relacionada à área da bacia e ao grau de fragilidade.....	53
Tabela 19 - Tipo de erosão/Mov.Massa, área de fragilidade, quantidade de pontos na área. ..	54

ÍNDICE DE MAPAS

1 - Localização	14
2 - MDE	43
3 - Declividade	45
4 - Solos	47
5 - Uso e Ocupação	49
6 - Fluxo Acumulado	51
7 - Fragilidade Ambiental	54

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo identificar áreas na bacia do rio Xopotó mais susceptíveis à ocorrência de processos erosivos. Para tanto, foram elaborados mapas de uso e ocupação, fluxo acumulado de água, solos e declividade. A partir desses mapas elaboraram-se o mapa de fragilidade ambiental da área em estudo, no qual foram plotados os pontos de erosão coletados em campo, onde se observou, ainda, que as Áreas de Preservação Permanente – APP's se encontram, em sua maioria, degradadas. Além dos pontos de erosão, foram coletados pontos de movimentação de massa como uma forma de acrescentar dados para evidenciar as áreas de maior fragilidade. Pela análise dos dados concluiu-se que as áreas de fragilidade se encontram em uma combinação de cambissolos, gleissolos e argissolos em pastagens com declives relativamente acentuados. Como no local do estudo há predominância desses tipos de solos, a região, conseqüentemente, vai apresentar um percentual de áreas de fragilidade ambiental considerável, logo, medidas de manejo adequadas e conservação do solo e da água devem ser implementadas, principalmente, com relação às pastagens, somando-se a isso, é necessário que haja a recuperação das Áreas de Preservação Permanente – APP's.

1 - INTRODUÇÃO

Os processos erosivos acompanham o ser humano há séculos devido à interferência antropogênica na dinâmica natural do meio ambiente. Este é um processo de remoção, transporte e deposição de sedimentos e/ou material litólico, fruto do intemperismo físico químico e biológico. Atualmente, a ocorrência de processos erosivos de forma acelerada se deve ao uso e ocupação do solo pelas atividades urbanas e rurais.

O Brasil perde uma grande quantidade de solo por ano. Segundo Bracagioli (1998), “No Brasil, as perdas por erosão ultrapassam 25t/ha/ano. No Paraná, os níveis de perda variam de 22 a 180t/ha/ano”, o que traz problemas à agricultura devido à diminuição do número de terras agricultáveis e conseqüentemente ao abastecimento de alimentos a nível local, regional e estadual. Além disso, tem-se a questão do assoreamento de corpos d’água, incluindo de reservatórios de usinas hidroelétricas, o que ocasiona a diminuição na produção de energia elétrica para fins residenciais e produtivos.

A poluição de corpos d’água agravada pelos processos erosivos gera problema na atividade pesqueira que fica comprometida, gerando, assim, problemas comerciais e sociais para as populações ribeirinhas que sobrevivem à partir deste recurso, além de prejuízos para o transporte fluvial, o que compromete sua utilização para fins turísticos e mercadológicos.

Muitos aspectos devem ser levados em consideração para a avaliação de áreas propensas à instalação e evolução de processos erosivos. Assim, deve-se avaliar características naturais como cobertura vegetal, características geomorfológicas e pedológicas.

No aspecto pedológico, os solos apresentam diferentes comportamentos, solos como os arenosos são mais propensos à erosão em relação a solos argilosos, assim como solos com maiores teores de matéria orgânica tem uma capacidade de armazenar mais água e são menos propensos a erosão, isto devido a matéria orgânica exercer um papel de estabilizadora dos agregados.

Além dos aspectos já citados, tem-se a questão de que o assoreamento ainda pode causar a eutrofização de recursos hídricos diminuindo a biodiversidade aquática devido ao baixo nível de oxigênio no ambiente. A contaminação de rios e lagoas ainda pode se dar pelo arraste junto com o solo de produtos agrotóxicos que dependendo do nível de contaminação podem tornar a água inutilizável naquele local. Por fim, o fenômeno da piracema pode sofrer

alterações devido à diminuição da profundidade dos rios, assim a reprodução de peixes fica extremamente comprometida.

Por esses aspectos que o estudo da erosão tem ganhado cada vez mais importância e destaque em âmbito nacional e internacional, nos meios acadêmicos, políticos e científicos, com a realização de inúmeros trabalhos, seminários, simpósios e conferências voltados para o tema, além do mesmo estar presente na pauta de discussões políticas, devido às consequências negativas que esse processo tem gerado para as esferas econômicas, sociais e ambientais.

Esta pesquisa tem por objetivo geral avaliar como o uso e ocupação do solo afetam o meio ambiente, acelerando os processos erosivos, mais especificamente tem-se como objetivo caracterizar o meio físico da bacia hidrográfica em estudo, identificar os diversos tipos de erosão na área em estudo e correlaciona-los com o uso e ocupação do solo, tipo de solo e relevo, além de correlacionar os tipos de erosão com áreas de vários níveis de fragilidade da bacia.

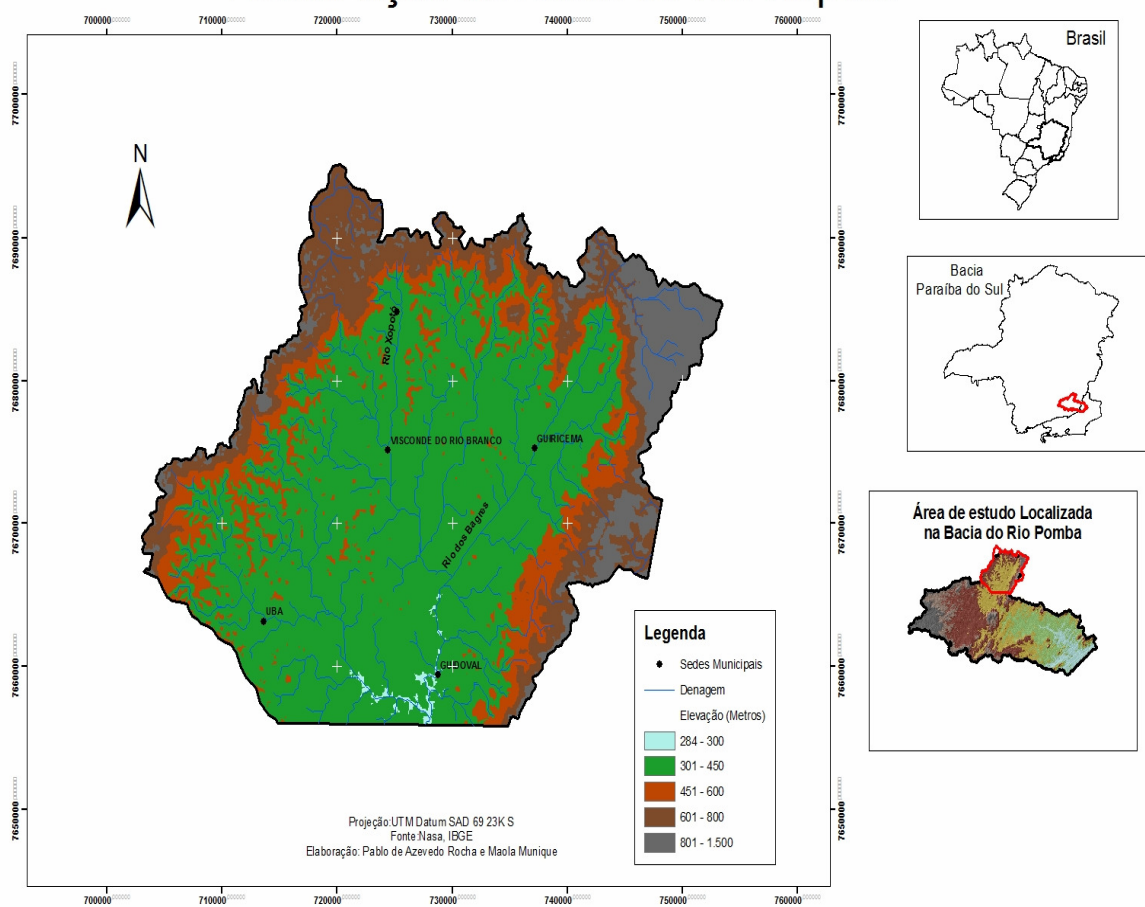
2 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1 - Localização

A área em estudo compreende a bacia do rio Xopotó que abrange os municípios de São Geraldo, Visconde do Rio Branco, Guiricema, Guidoal, Ubá, São Sebastião da Vargem Alegre, localizados na zona da mata mineira. A bacia em estudo é uma sub-bacia do Rio Pomba que, por sua vez, pertence a bacia do Rio Paraíba do Sul. Esta região está compreendida no Datum SAD 69 Zona 23K S.

A escolha da região como instrumento de estudos deve-se à grande variação de características ambientais existentes na mesma, a qual apresenta uma heterogeneidade de compartimentos topográficos e pedológicos. Isso gera pedoambientes diferenciados que terão dinâmicas naturais e usos antrópicos distintos. Neste contexto, o estudo de processos erosivos pode indicar o grau de fragilidade de cada pedoambiente, assim como a influência da atividade humana em acelerar tais processos. O mapa de localização da área em estudo encontra-se na página seguinte.

Localização da Bacia do Rio Xopotó



2.2 - Solos

A área em estudo se caracteriza pela ocorrência de Argissolos, Latossolos, Cambissolos e Gleissolos. O Argissolo, devido ao seu gradiente textural elevado, tem um grau de flocculação diferente entre os horizontes A e B, logo, o grau de flocculação é mais baixo no horizonte A, o que faz com que as argilas se transloquem para o horizonte B que, por sua vez, tem um grau de flocculação elevado.

O Argissolo apresenta horizonte B diagnóstico textural, devido ao aumento do teor de argila em profundidade, gerando uma descontinuidade do sistema poroso superficial que faz com que esses solos tenham maior susceptibilidade à erosão.

Normalmente, o argissolo possui argilas de baixa atividade, sendo, portanto, predominantemente caulínico e distróficos. Esse tipo de solo é, normalmente, encontrado nas paisagens em áreas no terço inferior das encostas e terraços.

Na região, o argissolo é bastante utilizado para pastagem e, como as mesmas se encontram em boa parte degradadas, tem-se a ocorrência de processos erosivos em lençol e lineares, na forma de erosão laminar e ravinamento, respectivamente.

O Latossolo apresenta, em geral, baixa suscetibilidade à erosão devido a suas características físicas. Na região da zona da mata tem-se Latossolos ricos em ferro, o que confere aos mesmos, maior resistência a erosão em sulcos ou voçorocas.

Os Cambissolos pouco desenvolvidos encontrados nas partes mais íngremes do relevo, em regiões topográficas montanhosa a escarpada associados à movimentação de massa e processos de ravinamento na região de Monte Celeste a São Geraldo e próximos a São Sebastião da Vargem Alegre, estão em associação com Neossolos Litólicos. Esses solos possuem como cobertura vegetal, na região, pastagem suja, eucalipto e mata secundária. Quanto a susceptibilidade à erosão, os solos são bastante variáveis, dependendo de fatores como declividade, cobertura vegetal, teor de silte e gradiente textural, porém, de modo geral os solos mais rasos possuem uma maior predisposição para eventos erosivos.

Gleissolos são solos hidromórficos, susceptíveis a erosão, geralmente, associados a Neossolos Flúvicos. São encontrados nas regiões de baixada e ao redor de cursos d'água, os quais, em sua maioria, não mais possuem mata ciliar, o que facilita o processo de assoreamento e erosão fluvial. Esses solos possuem, ainda, grande redução de Ferro III à Ferro II na presença de matéria orgânica, horizonte glei (Bg), coloração acinzentada e distrofismo acentuado.

2.3 - Substrato Geológico

Com relação ao material rochoso da Zona da Mata, esse compreende terrenos cristalinos rebaixados representados em sua quase totalidade por rochas de idade Pré-Cambriana, de variado grau de metamorfismo e uma pequena parte por formações sedimentares recentes, de idade Terciária e Quaternária (Brasil, 1970; Muggler, 2002). Brasil ainda destaca (1970), que os vales são compostos de sedimentos do Quaternário, de textura argilosa, argilo-arenosa ou arenosa, provenientes de um embasamento cristalino constituídas de materiais gnaissico-graníticos do Pré-Cambriano.

A região da zona da mata mineira está sobre os complexos Juiz de Fora, Piedade e Mantiqueira. Segundo Soares, Silva e Alkmim (2007), “o Complexo Juiz de Fora possui caráter alóctone, encontrando-se tectonicamente justaposto ao Complexo Mantiqueira por meio de extensa zona de cisalhamento neoproterozóica, a Falha de Abre Campo”. Uma das características do Complexo Juiz de Fora é a sua composição predominantemente de ortognaisses, rocha metamórfica, e metabasitos que são rochas metasedimentares.

O complexo da Mantiqueira presente na borda do Cráton São Francisco é caracterizado por um grande predomínio de rochas ortognaisses bandeadas. Soares, Silva e Alkmim (2007) destacam que o “Complexo Mantiqueira (Paleoproterozóico) podem ser vistos como unidades de caráter autóctone e para-autóctone que representam o embasamento cratônico retrabalhado no domínio orogênico”. É interessante ressaltar que um dos importantes rios da área em estudo, o rio Xopotó, em sua maior parte, corre em terrenos do Complexo Mantiqueira, até sua foz no rio Piranga.

Além das unidades geológicas sucintamente destacadas acima, tem-se ainda o complexo Porteirinha, também caracterizado por predomínio de gnaisses bandeados e manchas do complexo Paraíba do sul e outros.

2.4 - Clima

De acordo com a classificação de Köppen, na região da Zona da Mata tem-se predomínio do clima Aw, com verões chuvosos e invernos secos, típico tropical de Savana. A própria nomenclatura da classificação dá essa indicação, onde a letra A é sinônimo de climas úmidos e a letra w indica o índice de aridez que representa moderada deficiência de água no inverno, somando-se a isso, a temperatura do mês mais frio é superior a 18°C.

Outro tipo climático predominante na região é o clima Cwa, que se caracteriza por invernos mais secos e verões chuvosos, com temperatura do mês mais frio inferior a 18°C e a do mês mais quente superior a 22°C.

Além dessas características, um importante componente climático da região é a passagem da ZCAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul), faixa de nebulosidade persistente que possui orientação nordeste-sudeste, sendo um dos principais fatores para a ocorrência das chuvas de verão, além de ser um sistema de longa persistência temporal. As regiões mais próximas a Mantiqueira são mais afetadas devido a maior atividade convectiva.

2.5 - Histórico do uso e ocupação

A zona da mata mineira, como o próprio nome sugere, era uma região de densa mata atlântica, posteriormente, desenvolveu-se o cultivo do café no início do século XIX, concomitante a expansão cafeeira da região fluminense. A implantação do café foi feita através da derrubada da mata, com posterior queimada, o que representava uma maior produtividade de café nos primeiros anos devido à incorporação de nutrientes no solo gerando, então, uma impressão de solo rico nutricionalmente (eutrófico), assim, estimulando cada vez mais essa prática e o adensamento populacional na região, assim surgindo mais fazendas, vilas e cidades.

Apesar de se situar em uma região de mares de morros, a declividade não representou um obstáculo à expansão cafeeira, fato muito bem explicitado por Valverde (1958), quando afirma que as plantações seguiam muitas vezes a linha de maior declive.

Em meados do século XIX a cultura do café se consolida na zona da mata, no final do mesmo século tem-se a implantação de ferrovias, o que aumenta o caráter predatório da atividade cafeeira em relação a derrubada da mata atlântica, além de gerar danos ambientais devido as más instalações dessa atividade produtiva.

Com o café houve também um grande incremento populacional, bem relatado por Blasenhein (1982) que cita que em 1822, a população da zona da mata girava em torno de 20 mil habitantes e, em 1870, ultrapassava os 250 mil, chegando a 548 mil em 1890, quando contribuía com cerca de 7% da população do estado de Minas.

Porém, no final do século XIX ocorreu o declínio do café na região, devido a uma super produção e taxações tributárias, fazendo com que o café da zona da mata não tivesse mais preço competitivo comparado ao café Paulista e do Sul de Minas, além de problemas ambientais. Dados de Blasenhein (1982) confirmam tais problemas, quando cita que a exaustão dos solos da região vai refletir na produtividade do café. Esse autor verificou a

produtividade em seis municípios nas margens do Paraíba do sul e Paraibuna, que em 1877, produziam 40 mil toneladas de café e em 1902 produziam 10 mil toneladas apenas.

As áreas abandonadas pelo café eram substituídas por pastagem e cultivos de subsistência, assim, a pecuária e a produção de gêneros alimentícios passam a ser incorporadas na balança comercial da região.

O café tem uma considerável retomada com o avanço técnico e científico da dita revolução verde em meados do século XX. Atualmente divide o espaço com pastagens, plantios de eucalipto, que visam atender a demanda energética da mineração e dos pólos moveleiros de Ubá e Visconde do Rio Branco, entre outros usos agrícolas.

2.6 - Vegetação

De acordo com o IBGE (2004), a vegetação é formada por florestas ombrófilas (densa, aberta e mista) e florestas estacionais semidecíduais e decíduais, caracterizadas pelos seguintes aspectos: as florestas ombrófilas, termo grego que significa “amigos da chuva”, como o significado diz, se trata de um tipo de florestas que está relacionada a ambientes úmidos e, conseqüentemente, com bons índices pluviométricos. Os conceitos relacionados a estacional e semidecidual são expostos da seguinte maneira pelo levantamento de recursos naturais do IBGE (1987).

“O conceito ecológico de Região Estacional está preso ao clima de duas estações, uma chuvosa e outra seca. Este clima acarreta uma estacionalidade foliar dos elementos arbóreos dominantes, os quais têm adaptações à deficiência hídrica” (IBGE, 1987).

“No caso de Florestas Semidecidual, a porcentagem das árvores caducifólias no conjunto florestal e não das espécies que perdem folha individualmente deve situar-se em torno de 20% na época desfavorável” (IBGE, 1987).

Com relação ao termo decidual, o mesmo levantamento se refere da seguinte maneira com relação às florestas estacionais decíduais, “O conceito dessa região ecológica é semelhante ao anterior (floresta Estacional Semidecidual), variando apenas o percentual de decidualidade foliar dos indivíduos, que passa a ser 50% ou mais”.

3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 - Solo e erosão

O solo é uma superfície inconsolidada que recobre as rochas e mantém a vida animal e vegetal na Terra. É constituído de camadas que se diferem entre si pela natureza física, química, mineralógica e biológica. Porém, a definição de solo se ajusta conforme a área de conhecimento e de aplicação.

Em Ciência do Solo, conceitua-se o solo como sendo um sistema trifásico, isto é, com uma fase sólida que ocupa cerca de 50%, sendo a outra metade ocupada pela fase líquida com cerca de 25% e pela fase gasosa com cerca de 25%, salvo ambientes com grande saturação por água ou que apresentem solos com um percentual de aeração em que a fase gasosa predomine em relação à líquida.

Tabela 01 – Composição do ar e do solo atmosférico.

<i>Atmosfera</i>	<i>O₂</i>	<i>CO₂</i>	<i>N₂</i>	<i>H₂O</i> <i>(umidade relativa)</i>
	%			
Livre do solo	20,9	0,03	78,9	Variável
	19,6	0,90	79,5	≈ 100

Fonte: Apostila SOL 250/2004

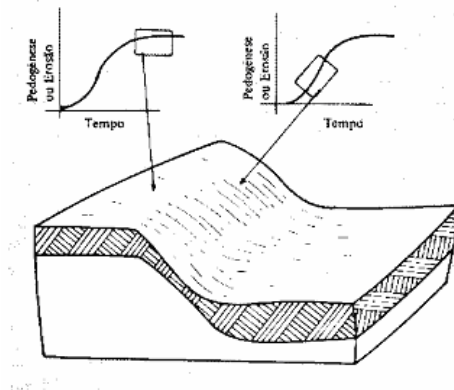
O processo de formação do solo, conhecido como pedogênese, tem um aspecto importante na preservação do mesmo, pois é a manutenção deste processo que vai garantir uma boa cobertura terrosa, porém a pedogênese demora anos para formar poucos centímetros de solo.

A formação do solo se relaciona com a erosão na medida em que esta última pode ter uma velocidade muito maior que a pedogênese. Por isso, a importância de se conhecer a dinâmica do pedoambiente para só depois realizar intervenções que poderão influenciar negativamente neste processo.

A figura a seguir ilustra o processo distinto de formação do solo, no qual nas áreas mais declivosas observam-se Cambissolos e nas partes menos íngremes os Latossolos. Segundo Resende (1985), as transformações, pedogênese e erosão, são maiores no solo mais

acidentado. No solo mais plano, já envelhecido, tanto a pedogênese quanto a erosão são pouco intensas.

Figura 01 - Pedogênese x Erosão.



Fonte: Informe Agropecuário, 1985.

Outros componentes de relevante importância para o estudo da erosão são as características físicas e químicas do solo, que vão determinar sua erodibilidade, Resende (1985) salienta que “a erodibilidade do solo, por sua vez, depende de vários atributos do solo como textura, teor de matéria orgânica, estrutura, permeabilidade, declive, comprimento e forma da encosta”.

3.2 - Processo Erosivo

Os processos erosivos ocorrem em várias etapas, tudo tem início com o impacto da gota de chuva no solo, tem-se então o processo de *splash*, o qual pode causar a ruptura dos agregados, assim, tem-se partículas menores que podem se direcionar para a parte porosa do solo, o que promove um rearranjo da estrutura de tal maneira que diminuem os espaços porosos, assim, tende-se a aumentar sua densidade, diminuindo sua porosidade, justamente devido a essas partículas menores terem ocupado espaços vazios no solo.

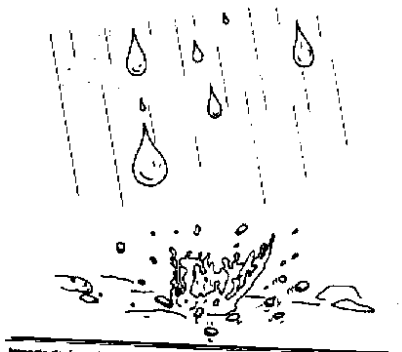
“A ação do splash, também conhecida por erosão por salpicamento, em português, é o estágio inicial do processo erosivo, pois prepara as partículas que compõem o solo, para serem transportadas pelo escoamento superficial. Essa preparação se dá tanto pela ruptura dos agregados, quebrando-os em tamanhos menores, como pela própria ação transportadora que o salpicamento provoca nas partículas dos solos” Guerra (2005, pg. 18).

Com o preenchimento desses espaços tem início o processo de selagem solo, com a formação de crostas na superfície, o que aumenta o escoamento superficial e diminui os valores dos índices de infiltração, criando um ambiente favorável para maior perda de solo.

Depois do processo de salpicamento do solo e a formação de crostas e sua conseqüente selagem, ocorrem as formações de poças, quem tem suas origens diretamente relacionadas ao processo de saturação de água no solo, momento este que o solo não consegue mais absorver água, a infiltração é cessada, criando-se um ambiente em que a água pode ficar acumulada na microtopografia da parte superior do solo, que pode se romper e iniciar o escoamento superficial.

O processo de formação das poças é anterior ao início do *runoff*, este se inicia quando as irregularidades da superfície do solo (microtopografia) estão preenchidas com água e começam a se interligarem, então as poças já não conseguem mais segurar a água, iniciando-se o escoamento superficial, que a principio é difuso, em lençol, o que se chama de erosão laminar. Porém, segundo Guerra (2005), “Nesse estágio do processo erosivo, começa a ocorrer uma pequena incisão no solo, em especial onde o fluxo de água começa a se concentrar, podendo dar início à formação de ravinas”, tem-se então um novo estágio de erosão que é caracterizada pelo desenvolvimento de fluxos lineares devido a concentração do fluxo de água na superfície do terreno.

Figura 02 - Impacto da água de chuva na superfície do solo.



Fonte: DAEE/IPT, 1990 - pg. 22

É importante salientar que o processo de fluxo linear pode ocorrer concomitantemente com o escoamento em lençol. Guerra (2005) salienta que “nesse estágio de evolução do escoamento superficial, a concentração de sedimentos no interior do fluxo linear faz com que haja um forte atrito entre essas partículas e o fundo dos pequenos canais, causando mais erosão nos canais que estão começando a se formar”.

À medida que o fluxo linear se estabelece na superfície do terreno, isto quer dizer que grande porcentagem da água concentra-se em canais bem definidos, tem-se, então, a possibilidade de transição para o terceiro estágio de erosão, com o desenvolvimento de microrravinas.

As microrravinas são caracterizadas por apresentarem em seus pequenos canais um gradiente de rugosidade bem elevado, o que torna a superfície dos canais irregulares. Esta característica se dá em função sedimentação que ocorre em seu interior, neste aspecto Guerra (2005) ressalta a dinâmica erosiva no microrravinhamento, onde cita que “esse aumento da rugosidade no fundo dos pequenos canais causa turbulência bem localizada, aumentando a erosão, podendo começar a surgir algumas cabeceiras nas ravinas que estão se formando na encosta, com o surgimento de algumas pequenas poças, situadas à jusante dessas cabeceiras”.

Com a formação de cabeceiras e poças, o processo erosivo começa a avançar para o quarto estágio, que se caracteriza pela formação de microrravinas de cabeceira, no estágio em questão tem-se dois aspectos fundamentais que são: a deposição de sedimentos logo a jusante das cabeceiras e o recuo dessas a montante. Somando-se a esses aspectos ocorre o aprofundamento e alargamento do canal, que, assim, tem capacidade de carrear mais sedimentos e na medida em que esse processo vai evoluindo surgem as primeiras pequenas ravinas, Guerra (2005), ressalta que “uma vez estabelecidas em uma encosta, as ravinas tendem a evoluir através de bifurcações em pontos de ruptura”.

Uma vez não controlado o processo de evolução da ravina, podem surgir feições erosivas mais agressivas, como as voçorocas que podem desconfinar o lençol freático tendo grande parte de sua dinâmica controlada por processos subsuperficiais, podendo alcançar dimensões extraordinárias.

A seguir são apresentadas tabelas que demonstram fatores responsáveis pela aceleração dos processos erosivos. Na tabela 03, observa-se que existem fatores facilitadores e fatores diretos relacionados à ação antrópica e a condições geomorfológicas, climáticas, edáficos e de vegetação. Na tabela 04 estão relacionados os tipos de erosão e respectivos agentes promotores.

Tabela 02 - Classificação dos fatores de degradação das terras.

	Ações antrópicas	Condições naturais
Fatores Facilitadores	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Desmatamento ➤ Permissão de superpastoreio ➤ Uso excessivo da vegetação ➤ Taludes de corte ➤ Remoção da cobertura vegetal para o cultivo 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Topografia ➤ Textura do solo ➤ Composição do solo ➤ Cobertura vegetal ➤ Regimes hidrográficos
Fatores diretos	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Uso de máquinas ➤ Condução do gado ➤ Encurtamento do pousio ➤ Entrada excessiva de água/drenagem insuficiente ➤ Excesso de fertilização ácida ➤ Uso excessivo de produtos químicos/estrupe ➤ Disposição de resíduos domésticos/industrias 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Chuvas fortes ➤ Alagamentos ➤ Ventos fortes

Fonte: Araújo, Almeida e Guerra, 2005.

Tabela 03 - Agentes e tipos de erosão.

Agente	Tipo de erosão ou processo de degradação
Água	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Efeito <i>splash</i> ➤ Erosão laminar ➤ Ravinamento ➤ Voçorocas ➤ Erosão do canal fluvial ➤ Ação em ondas ➤ Dutos e solapamento
Gelo	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Fluxo de sólidos (solifluction) ➤ Erosão glacial ➤ Arrancamento de gelo
Vento	<ul style="list-style-type: none"> ➤ A erosão eólica não pode ser subclassificada em “tipos”; ela varia principalmente por “grau”
Gravidade	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Rastejamento ➤ Fluxo de terra ➤ Avalanche ➤ Deslizamento de terra

Fonte: Araújo, Almeida e Guerra, 2005.

3.2.1 - Fatores que influenciam a erosão

a) Chuva

Na análise dos processos erosivos, a chuva é um dos fatores que deve ser considerado, principalmente em regiões tropicais, pois, “a erosão por *splash*, também conhecida no Brasil como erosão por salpicamento, ocorre, basicamente, como resultado das forças causadas pelo impacto das gotas de chuvas” (GUERRA 1998, p. 175).

As características pluviométricas que devem ser observadas são a intensidade da chuva, sua frequência e duração, sendo a intensidade o fator de maior importância. A gota de chuva tem a capacidade de formar crostas, o que torna a superfície do solo impermeável, assim, aumentando o escoamento superficial.

A capacidade que a chuva tem de causar erosão é definida com erosividade, este potencial é definido levando em consideração alguns parâmetros como características da gota de chuva, seu diâmetro, energia cinética e forma da gota entre outros, somam-se, ainda, os aspectos como intensidade, frequência e tempo de chuva.

b) Infiltração

A infiltração refere-se à movimentação da água dentro da superfície do solo, assim temos uma relação inversamente proporcional no que se refere a velocidade do escoamento superficial (*runoff*) e a velocidade de infiltração do solos, esta é influenciada por diferentes fatores como a natureza do solo no que diz respeito a sua estrutura, textura, teor de matéria orgânica, além de fatores que não dizem respeito ao solo em si como o tipo de cobertura vegetal e o preparo do solo, apesar destes terem um efeito transitório.

A capacidade de infiltração de água no solo tem relação direta com a intensidade do escoamento superficial segundo Bertoni e Lombardi Neto (1990).

“Durante uma chuva, a velocidade máxima de infiltração ocorre no começo, e usualmente decresce muito rapidamente, de acordo com alterações na estrutura da superfície do solo. Se a chuva continua, a velocidade de infiltração gradualmente vai se aproximando de um valor mínimo, determinado pela

velocidade com que a água pode entrar na camada superficial e pela velocidade com que ela pode penetrar através do perfil” (Betone e Lombardi, 1990, pg. 50).

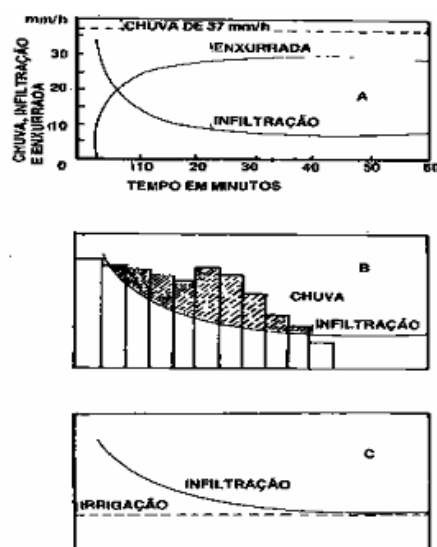
O fato acima pode ser observado nos gráficos a seguir.

Figura 03 - Intensidade de chuva, taxa de escoamento superficial e capacidade de infiltração para uma chuva artificial de intensidade constante em parcela experimental.



Fonte: Betone e Lombardi, 1990.

Figura 04 - Infiltração: A – Curva típica de infiltração e enxurrada; B – A parte hachurada do histograma de chuva é o que se pode esperar como enxurrada; C – A linha pontilhada representa o máximo de irrigação que se pode aplicar no local considerado.



Fonte: Betone e Lombardi, 1990.

Dos fatores que se relacionam com a capacidade de infiltração do solo, o de maior destaque é a vegetação, uma vez que, esta pode interceptar a gota de chuva, utilizando-a ou armazenando-a na superfície de sua folha de modo que a gota de água tenha total ou parcialmente seu volume diminuído pelo processo de evaporação, além de proteger o solo contra o impacto direto da gota de chuva, mais a frente será explicitado de maneira mais completa o papel da vegetação como fator que influencia na erosão.

c) Topografia do terreno

A topografia tem grande representatividade no que diz respeito aos processos erosivos. Os fatores considerados nesse aspecto se referem à declividade e comprimento da rampa, os quais têm ligação direta na velocidade da enxurrada ao longo da encosta, logo, quanto maior o comprimento e declividade da rampa maior a velocidade da água na superfície do declive, considerando condições iguais de solo, cobertura vegetal entre outros aspectos ambientais.

Quanto mais velocidade a enxurrada vai ganhando ao longo da encosta, maior o seu potencial de arraste de materiais, Bertoni e Lombardi (1990) destacam que “se duplicarmos a velocidade do escoamento, a quantidade de material que pode ser arrastado aumenta em 32 vezes, e o tamanho das partículas que podem ser transportadas aumenta em 64 vezes”, e em relação ao comprimento salientam que, “O comprimento da rampa não é menos importante que o declive, pois à medida que o caminho percorrido vai aumentando, não somente as águas vão se avolumando proporcionalmente como, também, a sua velocidade de escoamento vai aumentando progressivamente”.

A forma da encosta é outro componente da paisagem que deve ser considerado no estudo da erosão, Resende (1985) faz a seguinte afirmação: “Além do declive e do comprimento da encosta (rampa), a forma desta é importante no que se refere à erosão. A remoção de partículas e água é diferente, quer seja a encosta côncava, linear ou convexa”. A figura e o quadro abaixo ilustram o comportamento dessas formas de vertentes.

Tabela 04 - Efeito do comprimento de rampa sobre as perdas da erosão. Médias na base de 1.300 mm de chuva e declives entre 6,5 e 7,5%.

Comprimento da rampa (m)	Perdas de solo (t/ha)	Perdas água (% da chuva)
25	13,9	13,6
50	19,9	10,7
100	32,5	2,6

Fonte: Bertoni e Lombardi, 1990.

Tabela 05 - Relacionamento Geral entre as Pedoformas Côncavas e Convexas e Aspectos Ligados à Erosão.

Relacionamento Geral entre as Pedoformas Côncavas e Convexas e Aspectos Ligados à Erosão	
Côncava	Convexa
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Convergência das águas ➤ Erosão localizada; Tendência à formação de sulcos e voçorocas ➤ Espessura do “solum” tende a ser desigual ➤ Erosão e deposição ➤ Sementes e nutrientes acumulam nas partes mais baixas ➤ Estabilidade maior é pela ausência de cobertura vegetal densa nas áreas de concentração de água 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Divergência das águas ➤ Erosão mais uniforme e laminar ➤ Espessura do “solum” tende a ser uniforme ➤ Só erosão ➤ Sementes e nutrientes retirados do sistema ➤ Instabilidade maior é pela concentração de água

Fonte: Resende (1985).

d) Cobertura vegetal

A cobertura vegetal tem uma importante função para o controle e prevenção de processos erosivos, uma vez que, ela proporciona diversos benefícios ao solo, apresentando uma relação sinérgica com este.

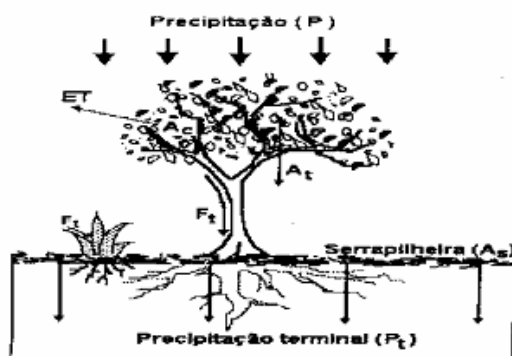
A vegetação protege o solo contra o impacto direto da gota de chuva assim evitando a desestruturação do agregado e a formação de crostas no solo, para isso, possui mecanismos de interceptação da chuva ressaltados por Guerra (2001), “a cobertura vegetal tem como uma de suas múltiplas funções o papel de interceptar parte da precipitação pelo armazenamento de água nas copas arbóreas e/ou arbustivas, de onde é perdida para a atmosfera por evapotranspiração durante e após a chuva” além disso, as raízes permitem uma melhor permeabilidade, uma vez que, formam canalículos no solo, o que facilita a infiltração e favorece o aumento do aporte de matéria orgânica, que entre outras funções desempenha a capacidade de reter água e melhorar a estrutura do solo.

A vegetação ainda tem a função de diminuir a velocidade da água ao longo do terreno por representar obstáculos físicos. O tipo de cobertura vegetal que está presente no solo vai proporcionar diferentes resultados, por isso a importância da compatibilidade do uso do solo com o tipo de solo e relevo, além de práticas agrícolas que privilegiem um maior aporte de cobertura vegetal no solo.

A vegetação é utilizada em varias técnicas para se conter processos erosivos, que serão expostos posteriormente, porém, vale ressaltar que a vegetação é muito importante na minimização da erosão eólica, assim Bertoni e Lombardi (1990) enfatizam que “a vegetação reduz a velocidade do vento na superfície do solo e absorve a maior parte de sua força. Aprisionado as partículas de solo, a vegetação previne a formação de nuvens de areia e impede que tais partículas sejam carregadas pelo vento”.

A figura e a tabela abaixo mostram a função estabilizadora que a vegetação promove no ambiente através das várias maneiras em que a cobertura vegetal intercepta a água e a relação entre o uso do solo e a taxa de infiltração em diferentes condições de cobertura vegetal, respectivamente.

Figura 05 – Componentes da interceptação: P é precipitação; ET é evapotranspiração; A_s é armazenamento nas copas, A_t é atravessamento nas copas; e F_t é fluxo de troncos.



Fonte: Guerra, 2005.

Tabela 06 - Taxa de infiltração constante (mm/h) em diferentes tipos de solo sob floresta e uso agrícola.

<i>Condição de uso</i>	<i>Tipo de solo</i>		
	<i>LRd</i>	<i>Ce</i>	<i>TREd</i>
Mata nativa	1.550	2.800	1.020
Cultivo convencional	640	60	140

LRd= Latossolo Roxo Distrófico; Ce= Cambissolo eutrófico; TREd= Terra Roxa

Fonte: Bertoni e Lombardi, 1990.

e) Natureza do solo

A natureza do solo exerce grande influência na capacidade que este tem de resistir a erosão, é o que se designa de erodibilidade, cada solo tem uma erodibilidade própria e Bertoni

e Lombardi (1990) apontam muito bem esse aspecto quando expõem que “a erosão não é a mesma em todos os tipos de solos. As propriedades físicas principalmente estrutura, textura, permeabilidade e densidade, assim como as características químicas e biológicas do solo exercem diferentes influências na erosão”.

Por isso, a importância do estudo de aspectos relacionados à textura, uma vez que, o tamanho das partículas que formam o solo vai influenciar em aspectos como infiltração e capacidade deste de resistir ao arraste pela água. Outros aspectos como estrutura, o tipo de argila e o teor de matéria orgânica também são levados em consideração.

Um importante aspecto que deve ser considerado em solos tropicais é o Al^{3+} trocável, que tem papel relevante nesse pedoambiente, pois ele é um flocculante importante, em climas quentes e úmidos esse aspecto é de fundamental importância, uma vez que, com a grande intensidade do intemperismo esse elemento floccula as partículas de solo de modo a dar estabilidade ao agregado, conseqüentemente faz com que o processo de intemperismo não carregue toda a argila, o que tornaria o solo somente com areia.

É fundamental salientar que monovalentes são grandes dispersantes, assim, solos com grandes quantidades desses elementos apresentam um grau de flocculação baixo, o que representa que as argilas vão estar mais livres, vão ser mais susceptíveis a erosão e mais facilmente transportadas.

A tabela abaixo ilustra os níveis de susceptibilidade a erosão comparados aos tipos de solos.

Tabela 07 - Grau de fragilidade dos tipos de solo

<i>Fragilidade</i>	<i>Tipos de solos</i>
Fraco	Latossolo Vermelho Amarelo; Latossolo Vermelho Escuro textura argilosa. Nitossolos textura argilosa
Média	Argissolos – textura média argilosa Latossolo Vermelho Amarelo – textura média argilosa
Forte	Cambissolos Chernossolo, Espodossolo, Gleissolo (hidromórficos) Neossolos Latossolos – textura média a arenosa.

Fonte: Ross (1997).

Guerra (2005) apontou para um aspecto muito importante no que concerne a erodibilidade, “Um aspecto importante, tanto na definição quanto no estudo da erodibilidade do solo, é que ela não é estática, mas, sim, uma função que depende do tempo”. Logo, se conclui que o uso que o ser humano dá ao solo pode modificar a erodibilidade deste, como se tem no caso do uso agrícola, que pode trazer mudanças em suas características físicas e

químicas, como menor aporte de matéria orgânica, alterações na estabilidade dos agregados, na estrutura do solo, no pH e modificações no grau de umidade devido a, entre outros fatores, a irrigação.

Tabela 08 - Tendência de erodibilidade do solo.

-
- É baixa em materiais grosseiros
 - É alta em siltes e areias finas
 - Diminui com o aumento da argila e matéria orgânica
 - Diminui com o aumento da cobertura vegetal e do teor de umidade anterior
 - Aumenta com o aumento da taxa de adsorção de sódio e com a diminuição da força iônica da água
-

Fonte: Araújo, Almeida e Guerra, 2005.

3.3 - Bacia Hidrográfica no contexto da erosão dos solos

Entende-se como bacia hidrográfica ou bacia de drenagem a área da superfície terrestre drenada por um rio principal e seus tributários, sendo limitada pelos divisores de água (Botelho, R.G.M., 2005 pg. 269). Devido às suas características geográficas e topográficas, pode-se dizer, ainda, que bacia hidrográfica é uma área onde toda chuva que cai é drenada por cursos d'água menores até alcançar o rio principal, sendo que as bacias encontram-se separadas por cadeias montanhosas conhecidas como divisores de água.

Análises ambientais relacionadas a processos erosivos incluem a escolha de áreas apropriadas que permitam reconhecer sua composição, os processos a que estão submetidas e as interações que ocorrem em seu meio. Assim, considera-se que a utilização de uma bacia hidrográfica é ideal para realização de tais análises, uma vez que nela é possível observar, além desses elementos, a ação do homem sobre o meio ambiente, constituindo a mesma uma “célula básica de análise ambiental”.

As dimensões da bacia hidrográfica influem na quantidade e na qualidade das análises ambientais, uma vez que, a variação dos diversos elementos que a compõe e as interações que ocorrem entre eles, tendem a ser maiores em células maiores, porém, a utilização de células maiores normalmente onera o custo das análises, além de necessitar o envolvimento de mais pessoas e demandar mais tempo.

“A bacia hidrográfica, portanto, pressupõe múltiplas dimensões e expressões espaciais (bacias de ordem zero, microbacias, sub-bacias) e que não necessariamente guardam entre si relações de hierarquia. Acredita-se que a funcionalidade implícita na escolha de uma bacia hidrográfica para a realização

de determinado estudo é o grande benefício advindo de uma seleção criteriosa”. (Botelho e Silva in Vitte e Guerra, 2004 pg. 159).

Na implantação de experimentos em bacias hidrográficas de diferentes dimensões deve-se considerar inicialmente o objetivo a ser alcançado. A partir daí seleciona-se a bacia em que seus elementos são mais bem representados e onde será possível aplicar as metodologias selecionadas, devendo a mesma ser representativa em sua função.

O fato de dentro de uma mesma bacia hidrográfica se encontrarem diferentes formas de uso e ocupação do solo pelo homem, assim como diferentes formas de cobertura vegetal possibilitam proceder às análises que levam em consideração as variações na taxa de infiltração, na velocidade de escoamento, na susceptibilidade a ocorrência de erosão, assim como na ocorrência de assoreamento dos corpos d’água etc., considerando-se que, “a bacia hidrográfica em ambientes florestados, ou mesmo com atividades agrárias, apresenta funcionamento que muito difere das áreas urbanas” (Botelho e Silva in Vitte e Guerra 2004 pg.160).

Os estudos em diferentes sítios apresentarão diferentes resultados e possibilitarão diferentes conclusões sobre maneiras de uso do solo, propiciando inferir sobre técnicas de manejo a serem adotadas visando potencializar os impactos positivos e mitigar os negativos, conseqüentemente favorecendo a maior produção de água através da redução do escoamento superficial. De acordo com Botelho e Silva in Vitte e Guerra (2004 pg.168), “Os programas desenvolvidos no Brasil visando o planejamento de bacias hidrográficas têm como objetivo principal manter a água dentro da bacia o maior tempo possível”.

“Ao distinguirmos o estado dos elementos que compõem o sistema hidrológico (solo, água, ar, vegetação etc.) e os processos a eles relacionados (infiltração, escoamento, erosão, assoreamento, inundação, contaminação etc.), somos capazes de avaliar o equilíbrio do sistema ou ainda a qualidade ambiental nele existente” (Botelho e Silva in Vitte e Guerra, 2004 pg.153).

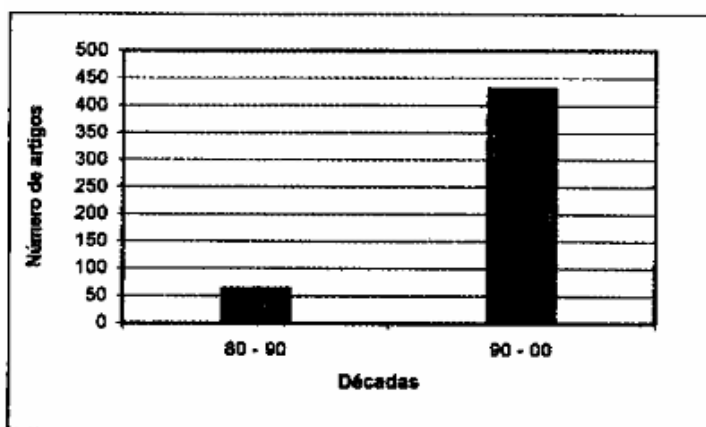
Afora a ocupação e uso do solo na zona rural de forma desordenada, a atividade antrópica irracional contribui de forma significativa causando problemas de ordem ambiental e social na zona urbana. A utilização de espaços urbanos com construções e a pavimentação das vias leva a maior impermeabilização do solo, fazendo com que as águas precipitadas não infiltrem e ainda escoem rapidamente sobrecarregando o sistema de drenagem urbana. De acordo Botelho e Silva in Vitte e Guerra (2004 pg. 172), “a água da chuva, impedida de infiltrar-se, escoam sobre a superfície pavimentada, seguindo diretamente para os canais

fluviais, alimentando-os rapidamente e podendo causar - dependendo, entre vários fatores, da intensidade e duração das precipitações - enchentes de proporções alarmantes”.

“Os fatores que influenciam os regime das águas e a produção de sedimentos nas bacias hidrográficas brasileiras dependem da atuação conjunta das condições naturais e das atividades humanas. As características naturais que contribuem para a alta erosão potencial incluem a topografia, geologia, solo e clima da bacia hidrográfica enquanto que as atividades humanas referem-se à forma de ocupação” (Cunha, 2001 pg. 233).

Na Figura abaixo se observa a demonstração da utilização da bacia hidrográfica como unidade de planejamento.

Figura 06 - Evolução do uso da bacia hidrográfica como célula de análise durante as duas ultimas décadas.



Fonte: Botelho e Silva in Vitte e Guerra (2004).

3.4 – Solo como estratificador da paisagem

O solo é um estratificador da paisagem não só por suas características físicas e químicas, mas por também ser social, à medida que representa o substrato onde a sociedade se reproduz, logo a paisagem deve ser vista de forma integradora.

Resende (2007) ressalta que “a paisagem é a expressão resultante da atuação dos fatores representados no tetraedro (clima, solos, organismos e aspectos socioeconômicos). Os pedoambientes constituem unidades importantes do meio físico de uma região, por apresentar grande diversidade de características naturais e de uso e ocupação antrópica”.

A adoção de bacias hidrográficas como unidades de estudo das paisagens e conseqüentemente dos elementos, processos e inter-relações que nelas ocorrem permite uma

visão abrangente do sistema, uma vez que, dentro de uma mesma bacia hidrográfica é possível observar diferentes formas de relevo, vegetação, clima, uso e ocupação do solo.

“O conceito de paisagem pode variar da abordagem estético-descritiva a uma abordagem mais científica. A primeira está relacionada a sua gênese, onde surgem e culminam as primeiras idéias físico-geográficas sobre fenômenos naturais, em meados do século XIX; já a segunda abordagem remete-se ao desenvolvimento e estabelecimento do conceito de como vem sendo construído desde então, com influência de outras ciências, definindo-se como Ciência da Paisagem, até os dias atuais” (Guerra e Marçal, 2006).

As diferentes relações que ocorrem dentro de um determinado sistema, incluindo a busca do homem por adequar o meio em que vive às suas necessidades e pretensões, levam à seletividade, onde a visão humana do espaço onde está inserido identifica seu potencial para exploração.

“O dado ordenador da paisagem é o processo da seletividade. A seletividade é a prática ambiental em que o homem transforma a associação natural num misto de espécies não utilizadas dessa associação com espécies consideradas úteis à sobrevivência humana. Isto é, plantas e animais domesticados, aclimatados pelo intercâmbio e pelas migrações. Assim, a paisagem criada se distancia da paisagem natural numa extensão que é proporcional ao nível de técnica usada na ação da seletividade. A determinante é a busca contínua do aumento da produtividade” (Moreira, 2007 pg. 42).

“A escultura da paisagem brasileira caracterizada pelas superfícies de erosão apresenta-se como um vasto território para pesquisa dessas superfícies especialmente no seu detalhamento” (Passos e Bigarella, 2001 pg.135). A paisagem de um determinado local pode ser levantada fornecendo informações imprescindíveis à análise dos processos erosivos. Características do relevo, vegetação, solo, recursos hídricos, entre outros, permitem avaliar o equilíbrio de um dado ecossistema adotando-se ferramentas específicas, por exemplo, aquelas contidas em mapas e sistemas de informações.

O sistema naturalmente formado por uma bacia hidrográfica encontra-se em pleno funcionamento, devendo as perdas ocasionadas por fenômenos naturais serem compensadas e corrigidas se a intervenção humana ocorrer de forma sustentável, permitindo a recuperação desse sistema ecológico, alterando de forma pouco significativa a formação das paisagens em um determinado espaço de tempo. Entretanto, o uso indiscriminado dos recursos ambientais e seu manejo inadequado em diferentes setores da bacia hidrográfica prejudicam este equilíbrio.

“Os desequilíbrios ambientais originam-se, muitas vezes, da visão setorializada dentro de um conjunto de elementos que compõe a paisagem. A bacia

hidrográfica, como unidade integradora desses setores (naturais e sociais) deve ser administrada como função, a fim de que os impactos ambientais sejam minimizados” (Cunha e Guerra, 1996 pg. 352 e 353).

A tendência humana de viver sempre em busca da adequação dos espaços naturais às suas necessidades vem causando degradação e empobrecimento dos recursos ambientais. “A erosão no Brasil possui várias formas de expressão na paisagem e inúmeros fatores controladores, entre eles o próprio homem” (Guerra e Botelho, 2001 pg. 219).

Mudanças na paisagem, como a degradação do meio ambiente relacionada a processos erosivos que levam, por exemplo, ao assoreamento de corpos d’água, são muito comuns. A realização de estudos que expressem em dados essa degradação é uma ferramenta de suma importância, uma vez que, os mesmos deverão ser utilizados na descoberta de técnicas de manejo mais adequadas.

Schaefer (2000) resume muito bem o estudo da paisagem “as paisagens naturais diferenciam-se pelos atributos climáticos, geológicos, de relevo, cobertura vegetal, entre outros. Uma visão integradora dos vários componentes pressupõe a capacidade de associar os fenômenos correlatos e interdependentes, que tornam o estudo da paisagem algo complexo.”

4.5 - Sistema de Informação Geográfica

Um Sistema de Informação Geográfica - SIG ou Geographic Information System - GIS é um sistema de informação espacial e procedimentos computacionais que permitem e facilitam a análise, a gestão e/ou a representação do espaço e dos fenômenos que nele ocorrem por meio da interpretação de dados.

“As classificações geomorfológicas, embora dependentes de escalas de tratamento de dados, podem ser usadas na organização do conhecimento ambiental, como base para cenários territoriais interpretativos, normalmente de alta coerência. Quando apoiados em Sistema Geográficos de Informação, tais cenários ambientais ganham grande complexidade e uma enorme aplicabilidade. Análises de rede de drenagem, uso de modelos tridimensionais para visualização do terreno e estimativas de impactos ambientais são alguns exemplos do uso integrado de conhecimentos geomorfológicos em Sistema Geográficos de Informação” (Silva in GUERRA E CUNHA, 2001).

A utilização de técnicas geo-espaciais tais como o GPS e o SIG, contribui para a realização de cartografia temática que servirá de apoio à análise da área em estudo e posterior estabelecimento de um quadro de medidas mitigadoras dos impactos ambientais negativos.

“A delimitação de bacias hidrográficas a partir de imagens de satélites também é possível; contudo, sua maior ou menor precisão fica a cargo, não só do tamanho da bacia a ser mapeada como, principalmente, da qualidade e riqueza de informações da imagem considerada” (Botelho, R. G. M., 2005 pg. 269).

Os SIG's oferecem potencialidades referentes à análise ambiental, uma vez que, a partir de toda a aquisição, manipulação e integração de informações, é possível a geração de cartas temáticas, possibilitando a relação dos elementos característicos do meio físico com os elementos sócio-ambientais e econômicos da bacia hidrográfica.

“O uso da cartografia e informação geomorfológicas objetiva representar a fisionomia da paisagem, tendo em vista a identificação dos elementos ou ambientes de acumulação e transporte, caracterização dos processos morfogenéticos, e as implicações da ação antrópica. Sob o ponto de vista ambiental, as formas de relevo são consideradas fatores que exercem influência sobre as condições locais e criam condições hidrológicas (e topoclimáticas) específicas”. (Botelho, R. G. M., 2005, pg 281).

Mais importante que a aplicação das técnicas de SIG é a interpretação dos dados gerados, onde os objetivos a serem alcançados devem estar predefinidos para que as conclusões estejam devidamente embasadas.

“É evidente que o sistema depende de sua interação com o analista e o tomador de decisão, que é quem interpreta os resultados gerados; coloca toda sua experiência, juntamente com um processo de discussão com a comunidade ou seus representantes, para sintetizá-los e analisá-los; gera informações e decisões que afetam esta comunidade e o meio ambiente ao seu redor, podendo ser caracterizado como um importante sistema de suporte à decisão” Rocha (2006, pgs. de 01 a 13).

5 - MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 - Procedimentos

O presente trabalho apresenta uma análise da susceptibilidade à erosão de compartimentos da Bacia do rio Xopotó, sub-bacia do rio Pomba, compreendendo os municípios de São Geraldo, Guiricema, Visconde do Rio Branco e uma pequena parte do município de São Sebastião da Vargem Alta e de Guidoal, todos localizados no estado de Minas Gerais, na Zona da Mata Mineira.

Para a realização da presente pesquisa, foram utilizados os seguintes dados: MDE da SRTM, adquirida no site da Nasa; imagem LandSat 5 TM com resolução espacial de 30 metros, adquirida no INPE; mapa de solos da área; pontos georreferenciados de processos erosivos, solos, uso e declividade, marcados em campo através da utilização de GPS. No processamento das informações foi utilizado o software ArcGis 9.2 e Erdas Imagine 9.1.

A utilização da bacia hidrográfica como unidade de estudo nos remete à noção de espaço. Dessa maneira pressupõe-se que bacia hidrográfica está determinada ou associada tanto à posição de entidades no espaço quanto à sua posição relativa a outras entidades objetos reais (Becker, 2002). A suscetibilidade a erosão está ligada a fatores como: características físico-químicas do solo, tipo de cobertura vegetal, forma de comprimento e declividade das encostas e manejo inadequado do solo (Guerra e Botelho, 2001).

Para o estudo da bacia foram feitos levantamentos bibliográficos, trabalhos de campo, utilização dos SIGs (Softwares) Arc Gis 9.2 e Erdas Imagine 9.1 para elaboração de mapas na escala 1:100.000.

A primeira parte de coleta de dados e caracterização da área foi feita no laboratório de geoprocessamento (LabGeo) do Departamento de Solos (DPS) da Universidade Federal de Viçosa (UFV), onde foram obtidas MDE da SRTM da Nasa. As SRTMs (Shuttle Radar Topography Mission) são obtidas à partir de um radar e permitem análises altimétricas e topográficas da área em estudo, somando-se a isso, obteve-se as sete bandas espectrais do Satélite LANDSAT 5 TM referentes as áreas 217/75 e 217/74, adquiridas no site do INPE, que, respectivamente, abrangem a área em estudo, as quais foram utilizadas posteriormente na elaboração do mapa de uso do solo da área pesquisada.

A imagem produzida pela união das bandas espectrais se refere a passagem do satélite na data 09 de maio de 2008.

Para a determinação do potencial de erosão da área foi necessário, primeiramente, definir os critérios a serem adotados para a análise e a espacialização de cada um destes critérios, através da elaboração de mapas. Na segunda parte foram atribuídos pesos para cada classe de cada um dos critérios. Assim, foi realizada uma análise multi-critério, gerando-se os mapas de fragilidade potencial e ambiental. Logo após a elaboração dos respectivos mapas, foram plotados sobre estes os pontos de erosão coletados em campo, de forma a validar os mapas gerados.

5.2.1 - Elaboração dos mapas

Modelo Digital de Elevação (MDE)

Para a elaboração do MDE foi feito o “refinamento” da imagem SRTM. Essa imagem foi tratada no sentido de se adotar classes de elevação com suas respectivas cores. Para tal utilizou-se o software ArcGis 9.2.

O MDE não foi utilizado diretamente na análise, isto é, não foi um dos critérios, porém, foi de fundamental importância para elaboração dos mapas de declividade e fluxo acumulado de água, respectivamente. O mapa MDE é encontrado ao final do item Material e Métodos

5.2.1.1 - Declividade

O mapa de declividade foi derivado à partir do MDE, para tanto foi utilizada a extensão do ArcGis *spatial analyst* com a ferramenta *Slope*, com as classes de declividade sendo apresentadas em porcentagem.

Para o estabelecimento das classes usou-se a classificação recomendada pela Embrapa, assim tem-se a seguinte classificação de declividade: 0-3% Plano, 3-8% Suave ondulado, 8-20% Ondulado, 20-45% Fortemente Ondulado, 45-75% Montanhoso, > 75% Escarpado.

5.2.1.2 - Fluxo acumulado de água

Assim como para a elaboração do mapa da declividade, o MDE também foi o arquivo utilizado, ou seja, a extensão *spatial analyst*, foi novamente utilizada, porém com a ferramenta *Hidrology*, assim as depressões foram preenchidas com a ferramenta *Fill*.

A partir do arquivo gerado pelo *Fill*, um novo arquivo foi gerado com a utilização da ferramenta *Flow direction*, que vai mostrar a direção do fluxo de água em cada célula.

Para possibilitar a análise do fluxo acumulado de água, utilizou-se a ferramenta *Flow accumulation*. Com isso foi possível gerar o mapa de fluxo acumulado de água, que foi dividido em classes de acordo com quantidade de células contribuintes.

5.2.1.3 - Solos

O mapa base de solos foi elaborado pelo professor Carlos Ernesto Schaefer, à partir da interpretação visual do MDE da área em estudo e conhecimento da relação solo-paisagem da mesma.

O mapa de solos foi obtido em meio analógico, tendo sido o mesmo vetorizado via mesa digitalizadora e editado com a utilização do software ArcInfo. Posteriormente, o arquivo editado recebeu em seu banco de dados as classes de solos e em seguida o mapa vetorizado foi transformado para o formato raster, de modo a possibilitar os posteriores cruzamentos com os demais mapas.

5.2.1.4 - Uso e ocupação da área

O mapa de uso e ocupação da área foi elaborado com a utilização do software Erdas Imagine 9.1, à partir da união das 7 bandas espectrais do Satélite LANDSAT 5 TM referentes as áreas 217/75, 217/74. Promoveu-se a união das bandas para as duas regiões, utilizando-se a ferramenta Interpreter - Utilites - Layer Stack. Em seguida obteve-se o mosaico das regiões, utilizando-se a ferramenta Data Prep - Mosaic. Images - Mosaic Wizard.

Com o mosaico pronto, o recorte da região foi feito clicando-se com o botão direito do mouse na imagem, escolhendo-se a opção Inquire Box, selecionando-se a área a ser trabalhada e anotando-se as coordenadas. À partir da ferramenta Data Prep-Subset, o recorte foi gerado.

Com a imagem da área pronta procedeu-se a classificação supervisionada. Assim, na primeira etapa do processo foi feita a coleta das amostras de treinamento através da digitalização de polígonos, para isso, foram abertas duas Viewers, em seguida clicou-se em Session e Tile Viewers, selecionou-se a imagem da área em estudo. Na Viewer dois seguiu-se os mesmos passos. Os procedimentos seguintes foram abrir o Signature Editor menu e coletar as amostras de treinamento. Passou-se, então, a utilizar o Seed Properties de modo a

determinar quais pixels serão considerados contíguos ao pixel semente (seed) ou quaisquer pixels aceitos. Para a avaliação das amostras de treinamento utilizou-se a ferramenta Alarm.

Ao final dessas etapas, com as assinaturas espectrais prontas, procedeu-se a classificação, utilizando-se o classificador da Distância Mínima e em seguida foi feito o índice Kappa no próprio software Erdas Imagine 9.1. O índice Kappa é utilizado para avaliar estatisticamente a exatidão do mapeamento temático gerado. A grande vantagem da utilização da estatística Kappa é que no coeficiente Kappa incluem-se todos os elementos da matriz de erro e não somente os elementos da diagonal principal.

O índice *kappa* varia de 0 a 1, onde $k \leq 0,2$: péssimo; $0,2 < k \leq 0,4$: razoável; $0,4 < k \leq 0,6$: bom; $0,6 < k \leq 0,8$: muito bom e $0,8 < k \leq 1$: excelente. Para o presente trabalho chegou-se a um índice de kappa global de 0,600, sendo que o índice kappa para pastagem foi de 0,535; para a área urbana foi de 0,653; para solos expostos e áreas agrícolas foi de 0,431 e para as áreas de florestas foi de 1,000.

Como referência para coletar as amostras de treinamento, foram utilizados os pontos coletados em campo com auxílio do GPS.

5.2.2 - Análise Multi-critério

Nesta etapa do trabalho, cada um dos critérios (solos, declividade, fluxo acumulado, uso do solo) foi re-escalonado, criando-se classes dentro de cada critério, a essas classes foram atribuídos pesos referentes ao grau de fragilidade, assim as escalas utilizadas variavam de 1 a 5, onde valor 1 representa grau mínimo de fragilidade e o valor 5 grau máximo de fragilidade, para tanto foi adotada a ferramenta *spatial analyst*, e em seguida *reclassify*. Os parâmetros utilizados para dar pesos de 1 a 5 as classes dentro de cada critério foram baseados na revisão bibliográfica e em trabalhos técnicos publicados na “Revista Informe Agropecuário” e na “Revista Brasileira de Ciência do Solo”. Em um destes trabalhos, **“TOLERÂNCIA DE PERDA DE SOLO POR EROSÃO PARA OS PRINCIPAIS SOLOS DO ESTADO DE SANTA CATARINA”**, Bertol e Almeida (2000) chegaram ao seguinte resultado:

“Os solos pouco desenvolvidos apresentaram os mais baixos valores de tolerância de perda de solo. No caso dos Litólicos, isto deveu-se à baixa profundidade efetiva apresentada, o que limita fortemente a quantidade de água infiltrada no perfil e aumenta o risco de erosão, além de um horizonte A fraco ou moderadamente desenvolvido assentado diretamente sobre a rocha ou horizonte C. Os solos com horizontes B textural e incipiente apresentaram, em geral, maior relação textural entre os horizontes B e A e baixa profundidade efetiva, respectivamente, o que limita fortemente sua capacidade de drenagem, tornando

os mais suscetíveis à erosão, especialmente quando o conteúdo de areia no horizonte A é alto. Apesar disso, estes solos toleram, de modo geral, perdas médias por erosão maiores do que os solos pouco desenvolvidos, como indicado por este método. Os solos com horizonte B latossólico e a maioria das Terras Estruturadas apresentaram, em geral, elevada profundidade efetiva A baixa relação textural e a estrutura bem desenvolvida destes solos facilitaram a drenagem de água no perfil, fatores que, aliados à sua textura argilosa ou muito argilosa, conferem-lhes maior resistência à erosão do que os demais. Assim, a tolerância média para estes solos teve uma tendência de ser maior do que para os solos com horizontes B textural e incipiente, apesar de não ter havido diferença estatística entre eles” (BERTOL e ALAMEIDA, 2000, pág 663).

Destaca-se na “Revista Informe Agropecuário” (1985), o trabalho de Mauro Resende (Aplicações de conhecimento pedológico à conservação do solo), onde é feito o estudo detalhado das pedoformas e atributos das principais classes de solos da região da zona da mata, relacionando estes aos processos erosivos, além do trabalho realizado em conjunto com Joaquim Rosa Almeida (1985), (Modelos de predição de perda de solo: uma ferramenta para manejo e conservação do solo), no qual os autores destacam a importância do estudo dos fatores que podem levar à erosão, fazendo-se uma comparação entre o método de predição USLE e o SLEMSA.

5.2.2.1 - Atribuição de Pesos

5.2.2.1.1 - Declividade

À medida em que a declividade aumenta, a potencialidade de erosão aumenta proporcionalmente. Desta forma as classes 0-3% e 3-8% receberam o menor peso e a classe >75% o maior peso, conforme consta na tabela a seguir.

Tabela 09 - Classes de declividade e grau de fragilidade

Classes (%)	Grau de fragilidade (Pesos)
0-3 → Suave	1
3-8 → Suave Ondulado	1
8-20 → Ondulado	2
20-45 → Forte ondulado	3
45-75 → Montanhoso	4
> 75 → Escarpado	5

5.2.2.1.2 - Fluxo acumulado de água

O mapa de Fluxo acumulado de água possui quatro classes, que foram geradas levando em consideração a quantidade de células que contribuíram para tal fluxo, os quais são representados na seguinte tabela.

Tabela 10 - Classes de Fluxo acumulado de água e grau de fragilidade.

Classe Pixels de contribuição	Grau de fragilidade
0-2	1
2-5	3
5-200	5
>200	0 (curso d'água)

5.2.2.1.3 - Solos

Os pesos estabelecidos para cada classe de solos foram definidos através das características físicas de cada classe, além de se basear no referencial teórico. Assim, tem-se cada pedoambiente com suas classes e associações e seus respectivos pesos na tabela a seguir:

Tabela 11 - Classe e associação de Classes de solo e Grau de Fragilidade.

Classes e associações de classes de solo	Grau de Fragilidade
Latossolo	1
Latossolo + Argissolo	2
Gleissolo + Cambissolo + Neossolo Flúvico	5
Argissolo	3
Cambissolo + Neossolo Litólico	5
Cambissolo + Argissolo	4

5.2.2.1.4 - Uso e Ocupação

Para a classificação do grau de fragilidade do mapa de uso e ocupação considerou-se a literatura consultada e os dados coletados no trabalho de campo. Os resultados observados estão ilustrados na tabela a seguir:

Tabela 12 - Classes de Uso e Ocupação e Grau de Fragilidade.

Classes de Uso Ocupação	Grau de fragilidade
Mata	1
Uso agrícola (Café, Manga, olericultura, etc.)	2
Pastagem (em sua maior degradada)	4
Área Urbana	3
Solo Exposto	5

5.2.2.2 - Cruzamento dos Critérios

5.2.2.2.1 - Fragilidade Potencial

Para a confecção do mapa de fragilidade potencial foi feito o cruzamento dos mapas dos critérios de declividade, solos e fluxo acumulado de água. Para tal, utilizou-se a extensão do ArcGis *spatial analyst* e a ferramenta *raster calculator*.

Os critérios utilizados para gerar a fragilidade potencial foram a declividade, tipo de solo e fluxo acumulado de água, todos recebendo pesos iguais. Assim no *raster calculator* procedeu-se a soma dos critérios (Declividade + Solos + Fluxo acumulado de água).

O arquivo gerado (fragilidade potencial) foi re-classificado, assim foram estabelecidas classes para cada grau de fragilidade, conforme tabela demonstrativa abaixo.

Tabela 13 - Classe de fragilidade e Grau de Fragilidade.

Classe de fragilidade	Grau de Fragilidade
Baixa	1
Levemente Baixa	2
Média	3
Alta	4
Extremamente Alta	5

5.2.2.2.2 - Fragilidade Ambiental

O procedimento para elaboração da fragilidade Ambiental seguiu os mesmos critérios adotados para a fragilidade potencial, com o acréscimo do critério uso e ocupação. Assim, no *raster calculator*, fez-se a soma dos critérios (declividade, tipo de solo, fluxo acumulado de água e uso e ocupação), atribuindo-se pesos iguais para todos. O arquivo gerado foi também re-classificado nos mesmos moldes da fragilidade potencial.

5.2.3 - Trabalho de Campo

A segunda etapa de coleta de dados e caracterização da bacia hidrográfica foi realizada em campo, para isso, foram estabelecidos transeptos, um de Monte Celeste, distrito do

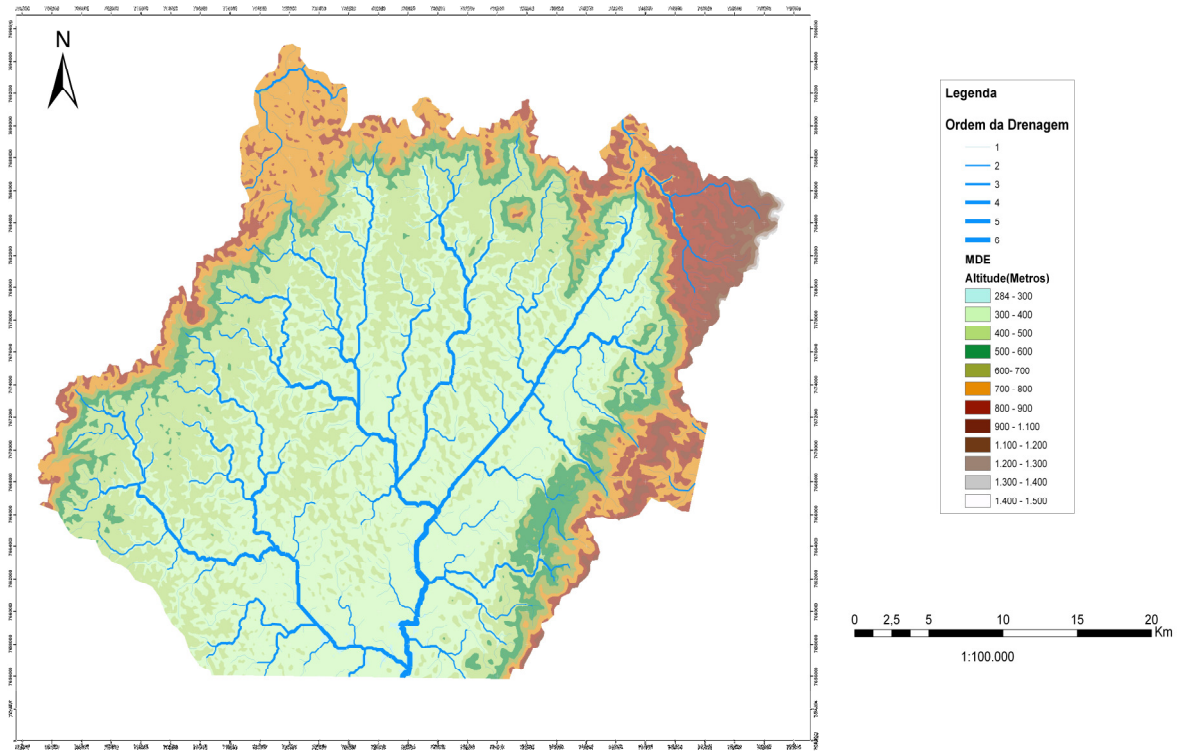
município de São Geraldo, até a área urbana do mesmo e o outro no sentido Ervália → São Sebastião da Vargem Alegre → Guiricema → Guidoal → Ubá → São Geraldo.

Os recortes acima tiveram por objetivo georreferenciar pontos de erosão nos mais diferentes ambientes da área em estudo, de modo que essas coletas caracterizassem as feições mais predominantes em cada pedoambiente, correlacionando esses pontos com os dados do SIG.

Durante o trabalho de campo, as coordenadas geográficas de cada ponto de erosão observado foram obtidas com auxílio do aparelho de GPS e somando-se a isso, foi feita a descrição visual da área, a partir do preenchimento de uma planilha, na qual constam características do local, como, cobertura vegetal, grau de erosão, tipo de solo, declividade, uso e ocupação, forma do relevo e número de registros fotográficos obtidos em cada ponto marcado.

Foram utilizados nas coletas de dados em campo: mapas de solo, declividade e MDE, de modo que cada ponto marcado no GPS foi também marcado em cada um dos mapas. Com a análise e interpretação dos dados pode-se observar as áreas da bacia mais propensas a processos erosivos.

Modelo Digital de Elevação da Bacia do Rio Xopotó



Trabalho de TCC, Projeto MGE-P1, Junho 2012
Elaboração: Simone Elaine Fialho, Rogério Diego Lourenço, Nemat Alrasheed,
Eduardo Brito Neto, DSE.

6 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 - Critérios

6.1.1 - Declividade

A declividade da região foi dividida em varias classes conforme recomendação da Embrapa. A tabela abaixo mostra as características do relevo da região em estudo.

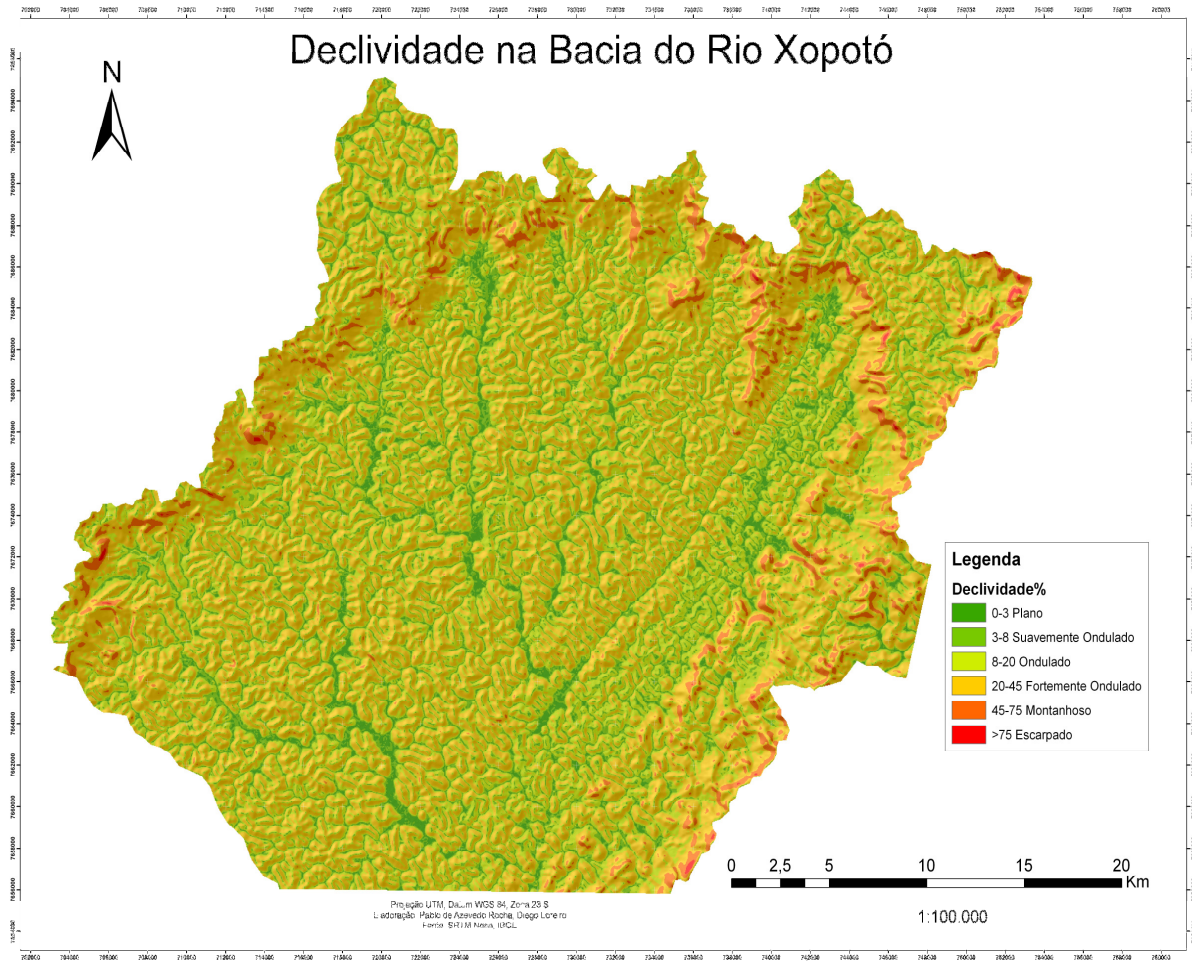
Tabela 14 - Declividade, área em relação a bacia, grau de fragilidade.

Declividade (%)	Área na bacia (%)	Grau de Fragilidade
0-8%	14,986	1
8-20%	33,72	2
20-45%	47,351	3
45-75%	3,839	4
>75%	0,102	5

A chuva que cai nos topos de morro tem um escoamento muito rápido em direção aos cursos d'água, o que dependendo do nível de degradação dos solos ao longo da vertente pode representar assoreamento dos cursos d'água e a aceleração da instalação de processos erosivos, comuns na região.

O resultado obtido mostra a importância da presença de vegetação em áreas muito declivosas, sendo este um fator preponderante para diminuição do escoamento superficial, aumento da infiltração no solo, além de proporcionar estabilidade em áreas com feições ravinares anfiteatras que apresentam como característica a convergência das águas, a qual pode levar a instalação de processos erosivos lineares.

A área em estudo apresenta um percentual significativo de sua superfície entre as declividades de 20-45%, que perfazem 47% da área, o que revela uma região com muitas vertentes declivosas, conforme visto no mapa a seguir:



6.1.2 - Solos

Na área em estudo, observou-se quatro classes de solos, representadas pelos Latossolos Vermelho Amarelo Distrófico (LVAd), Latossolos Vermelho Amarelo Distrófico Húmico (LVAd,h), Argissolos Vermelho Amarelo Eutrófico (PVAe), Argissolos Vermelho Amarelo Distrófico (PVAAd), Argissolos Vermelho Eutrófico (PVe), Gleissolos Háplico Distrófico (GXbd), Neossolos Flúvico Distrófico (RYbd), Neossolos Litólico Eutrófico, Cambissolos Háplico Eutrófico (CXbe) e Cambissolos Háplico Distrófico (CXbd) com grande predomínio da Classe de Argissolos e Cambissolos.

Em relação ao grau de fragilidade, esta região tem uma elevada proporção de solos com grande potencial de erosão (67% da área), representado pela presença dos Cambissolos e Argissolos. Tal constatação fica explícita nos trabalhos de campo onde foi possível observar erosões em fluxo concentrado de água, representadas pelas ravinas.

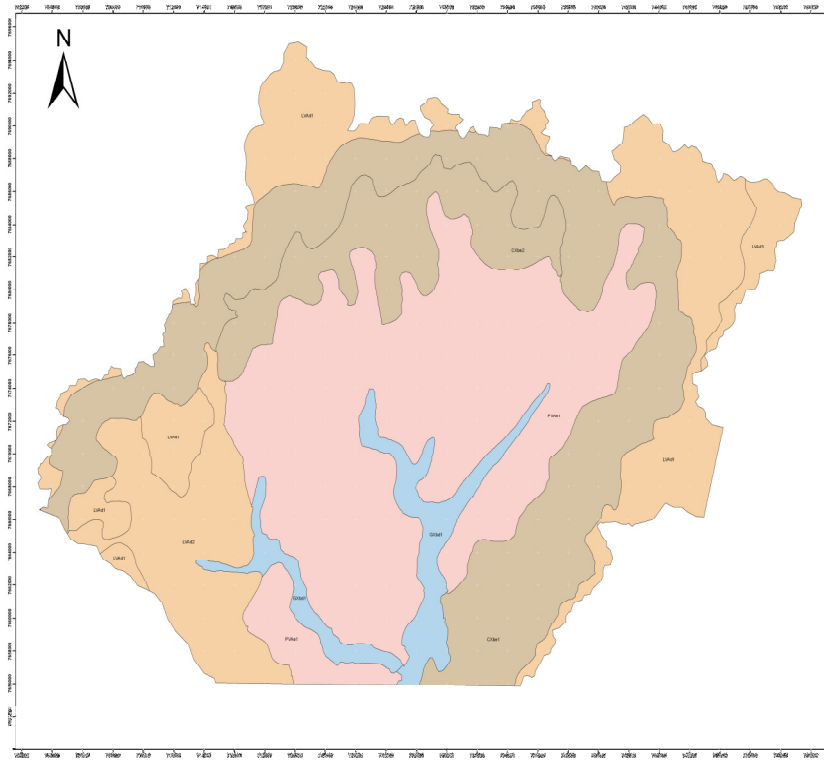
Observou-se grande ocorrência de movimentos de massa na região, os quais, assim como os ravinamentos, se concentraram nas classes de solos supracitadas, que apresentam elevado potencial erosivo pelo não adoção de técnicas de conservação e manejo do solo. Na tabela a seguir tem-se a distribuição dos solos na região.

Tabela 15 - Classes de Solos, área, área em relação à bacia, grau de fragilidade.

Classes de Solos	Área na Bacia (%)	Grau de Fragilidade
LVAd	17,103	1
GXbd +RYbd+ CXbe	4,995	5
LVAd + PVAAd	9,247	2
PVAe + PVe	33,151	3
CXbe + PVe	8,208	4
LVAd,h	1,584	1
CXbe + CXbd +Rle,d	25,709	5

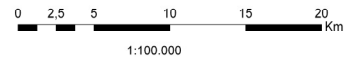
Com relação aos Argissolos, Resende (1985), salienta que os mesmos “apresentam uma estrutura em blocos bem desenvolvida, o que reduz um pouco a infiltração de água, são relativamente propensos à erosão em sulcos”. Em relação aos Cambissolos, o mesmo autor ressalta que estes tipos de solo “tendem a se erodir com mais facilidade e, sendo rasos, o horizonte C é exposto com certa facilidade, podendo haver afloramento de rochas e o aparecimento de voçorocas, dependendo da natureza e espessura do horizonte C”. Tal fato é observado nas encostas mais íngremes dos divisores na Serra de São Geraldo, especialmente na face oeste, mais seca.

Solos da Bacia do Rio Xopotó



Legenda Solos Classes de Solos

- CXbe1-CAMBISSOLO HÁPLICO Eutrófico**
 CXbe1-CAMBISSOLO HÁPLICO Eutrófico + CAMBISSOLO HÁPLICO Distrófico + NEOSSOLO LITOLICO relevo montanhoso a escarpado vegetação floresta estacional semidecidual
 CXbe2-CAMBISSOLO HÁPLICO Eutrófico + ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico relevo forte ondulado a montanhoso vegetação floresta estacional semidecidual
- LVa4L1-LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico**
 LVa4L1-LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico relevo forte ondulado a montanhoso vegetação floresta estacional semidecidual
 LVa4L2-LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico + ARGISSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico relevo forte ondulado a montanhoso vegetação floresta estacional semidecidual
 LVa4L3-LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico relevo forte ondulado a montanhoso vegetação floresta estacional semidecidual
- GXIb1-GLEISSOLO HÁPLICO Distrófico**
 GXIb1-GLEISSOLO HÁPLICO Distrófico + NEOSSOLO FLUVICO Distrófico + CAMBISSOLO HÁPLICO Eutrófico relevo plano a suavemente ondulado vegetação floresta estacional semidecidual
- PV Aa1-ARGISSOLO VERMELHO AMARELO Eutrófico**
 PV Aa1-ARGISSOLO VERMELHO AMARELO Eutrófico + ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico relevo forte ondulado a ondulado vegetação floresta estacional semidecidual



Projeto LTM, Cadastro MEE-PA, Zona 22 S
 Eletrônico, União Federal, Projeto de Assessoria, Brasília, Distrito Federal, Brasil, em 2012.
 Fonte: IBGE, Mapas IBGE.

6.1.3 - Uso e ocupação

Pela análise do uso, observa-se que a pastagem ocupa um grande percentual da área em estudo onde encontra-se em estágio de degradação de médio a elevado. Assim, o peso atribuído a essa classe de uso foi 4.

Como as pastagens representam a maior parte da área em estudo, seu nível de degradação pode ser um dos fatores a serem consideradas para avaliar a qualidade ambiental da bacia. As fotos no Anexo 2 ilustram este fato.

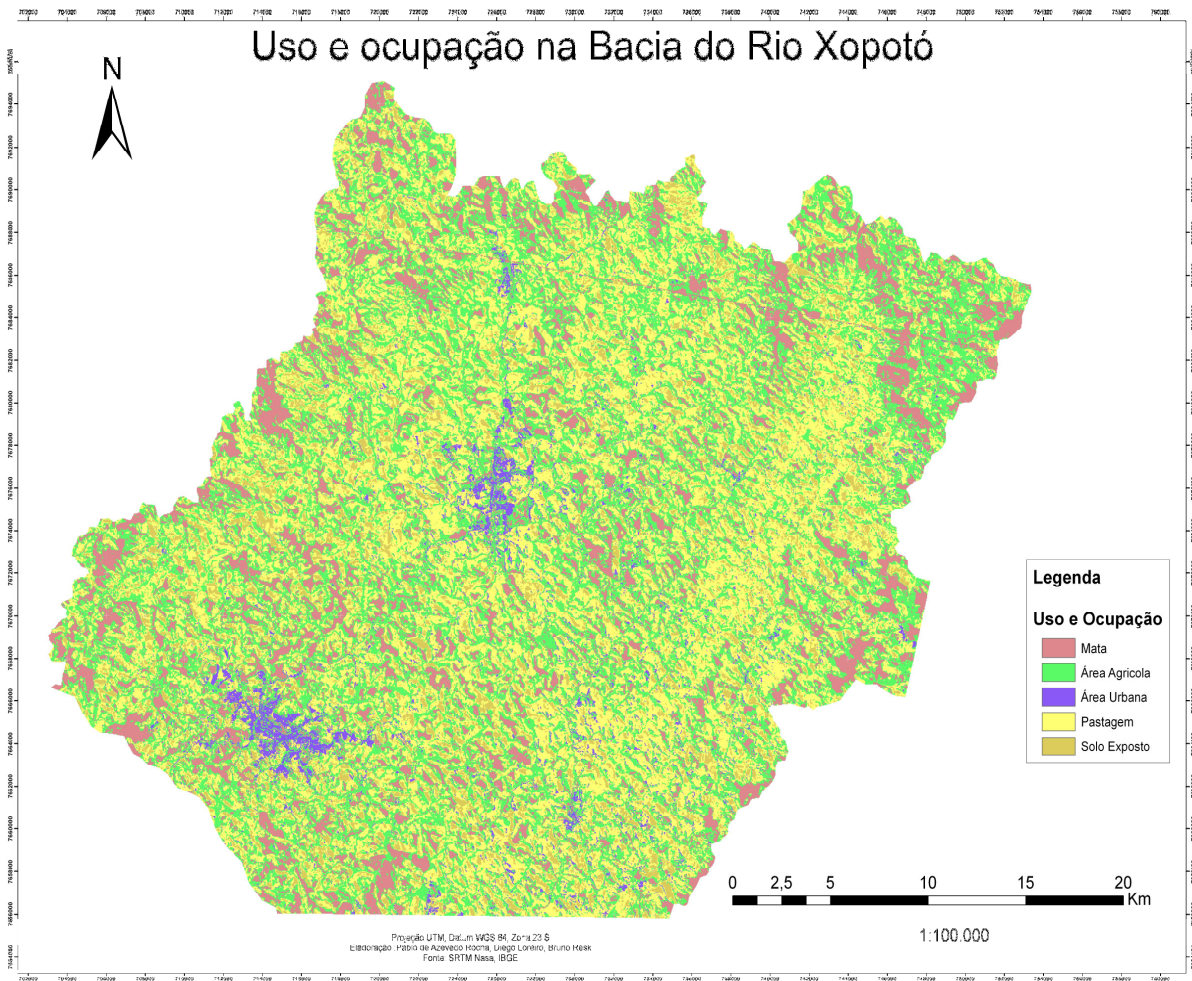
Tabela 16 - Uso ocupação, área em relação à bacia, grau de fragilidade.

Uso e Ocupação	Área na Bacia (%)	Grau de fragilidade
Pastagem	36,905	4
Mata	15,644	1
Área Urbana	3,100	3
Solo Exposto	9,292	5
Área Agrícola	35,061	2

O elevado percentual de áreas denominadas de coberturas florestais(16%), refere-se ao somatório das áreas de capoeira, mata primária, mata secundária e de eucalipto, sendo que esta última vem se fortalecendo na região não apenas para suprir a demanda do pólo moveleiro, mas também como expansão de áreas para indústria mineradora. Apesar de uma vegetação de porte mais elevado, mais densa e com dossel maior, o seu manejo deve ser feito de forma equilibrada, de modo a manter o solo sempre coberto. Esses cuidados devem ser tomados em relação, especialmente, às monoculturas de eucalipto.

Na área em estudo observou-se o estado de degradação das APP's (Áreas de Preservação Permanente) pela quase total ausência de vegetação como árvores e arbustos, além da ocorrência de processos erosivos. Assim, topos de morros e terços superiores de encostas encontram-se praticamente descobertos, com presença apenas das pastagens degradadas em sua maior parte, daí o elevado número de ravinamentos e movimentos de massa na região. Matas ciliares foram observadas em pequena quantidade, o que favorece a ocorrência de erosão do tipo fluvial, além do assoreamento dos cursos d'água que, juntos, vão potencializar a ocorrência de enchentes em épocas de chuva.

As áreas agrícolas, em grande parte, são ocupadas com culturas de café, fruticultura, olericultura e capineiras bem manejadas, nas quais não foram observadas erosões de grande porte, mas com boa parte apresentando erosão do tipo laminar. A quantidade de solo exposto (9%) na região é relativamente preocupante, uma vez que, o pedoambiente fica totalmente susceptível a fatores responsáveis pela instalação dos processos erosivos.



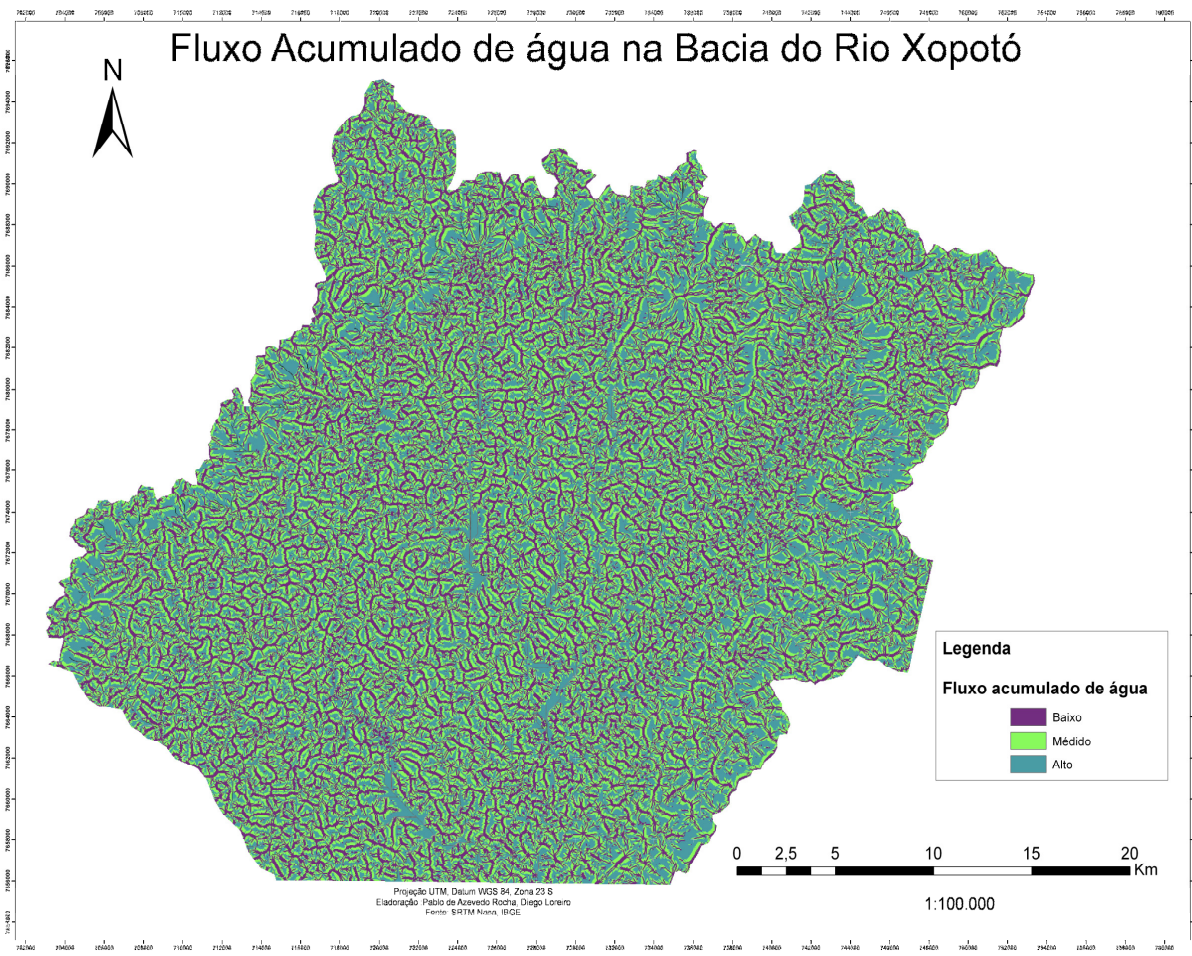
6.1.4 - Fluxo acumulado de água

Com relação ao fluxo acumulado de água, é levada em consideração a quantidade de pixels que contribuem para o mesmo. Como a área apresenta um relevo bastante recortado, as águas da chuva não se acumulam em grande quantidade na vertente, sendo seu acúmulo maior nas partes baixas da bacia. As classes de pixels maiores que 200 foram consideradas como cursos d'água.

Tabela 17 - Classes de pixels de contribuição e grau de fragilidade.

Classes de Pixels de contribuição	Grau de fragilidade
1-3	1
3-5	3
5-200	4

As classes 1 e 3 foram as que apresentaram a maior percentagem de fluxo acumulado dentro da bacia, o que pode ser explicado pelas características topográficas da região. Por apresentarem o gradiente de vertente muito elevado e um denso entalhamento da drenagem, característica de um clima quente e úmido, toda água meteórica tende a escoar rapidamente ao longo da vertente se direcionando para algum curso d'água. Este aspecto é ainda mais preponderante na região estudada devido à ausência de vegetação nos topos de morro e terços superiores, o que conseqüentemente aumentará a velocidade da enxurrada, conforme visto no mapa a seguir:



6.1.5 - Fragilidade Ambiental

A área em estudo apresenta um elevado grau de fragilidade com áreas de média a extremamente alta fragilidade, perfazendo cerca de aproximadamente 64% da área da bacia. Grande parte das formas de erosão em ravinas e dos movimentos de massa são encontrados nessas classes de fragilidade. A bacia em questão possui fatores naturais que favorecem à instalação de processos erosivos e movimentação de massa, pois apresenta uma proporção considerável de solos rasos em sua maioria susceptíveis ao desenvolvimento de erosão, além de apresentar uma paisagem dissecada com vertentes, geralmente, íngremes.

Somando-se aos fatores naturais, existe a ação antrópica que contribui para aumentar a fragilidade desse tipo de ambiente, como pastagens mal manejadas, áreas agrícolas exauridas e posteriormente abandonadas, além da instalação de infraestrutura de transporte como as estradas, onde não é respeitada a capacidade suporte do meio, haja vista o grande número de movimentos de massa nos cortes de rodovias. Assim com a junção de predisposições naturais do ambiente com ações humanas mal planejadas, propiciam um grau de fragilidade ambiental elevado para a área em questão.

Tabela 18 - Classe de fragilidade relacionada à área da bacia e ao grau de fragilidade.

Classe de fragilidade	Área na bacia (%)	Grau de fragilidade
4-8	13,643	Baixa
8-10	22,220	Levemente baixa
10-12	26,605	Média
12-14	22,863	Alta
14-20	14,680	Extremamente Alta

6.1.6 - Pontos de erosão

Foram coletados 78 pontos representando a ocorrência de erosões e de movimentos de massa na região estudada. Após a elaboração do mapa de fragilidade ambiental, esses pontos foram plotados sobre o mapa em questão, tendo sido obtidos os resultados apresentados na tabela a seguir:

Tabela 19 - Tipo de erosão/Mov.Massa, área de fragilidade, quantidade de pontos na área.

Tipo de erosão /Mov.massa	Área de fragilidade	Qtde de Pontos na área
Laminar	Baixa	12
Laminar	Levemente baixa	07
Laminar	Média	04
Laminar	Alta	01
Ravinamento	Levemente Baixa	01
Ravinamento	Média	10
Ravinamento	Alta	19
Ravinamento	Extremamente Alta	01
Fluvial	Baixa	01
Fluvial	Levemente baixa	04
Fluvial	Média	01
Fluvial	Alta	04
Fluvial	Extremamente Alta	02
Movimento de massa	Média	04
Movimento de massa	Alta	03
Movimento de massa	Extremamente Alta	04

A tabela ilustra a correlação do tipo de erosão e movimento de massa com suas respectivas áreas de fragilidade, mostrando a importância da coleta de dados em campo para confirmar informações geradas em gabinete. Observa-se, ainda, como o tipo de degradação do solo varia com o tipo de ambiente, com a ocorrência de alguns pequenos erros. Assim, as erosões laminares se concentraram cerca de 78% em áreas de fragilidade baixa a levemente baixa, onde predominam latossolos e áreas agrícolas. Já os ravinamentos se concentraram cerca de 93% em áreas de média e alta fragilidade, o que tem relação direta com o tipo de solo e uso da área.

As erosões fluviais foram mais especializadas dentro das classes de fragilidade, podendo estar variando de acordo com o fluxo de água e com a presença de vegetação ciliar. Os movimentos de massa ficaram concentrados nas áreas de média a extremamente alta fragilidade em sua maior parte relacionados a Cambissolos com forte declividade ou em locais de corte de taludes.

O mapa a seguir demonstra a espacialização dos pontos erosivos em suas respectivas áreas de fragilidade.