

Elton Luiz Valente

**Caracterização da intensidade de degradação do solo e da cobertura vegetal de uma área no Médio Rio Doce, utilizando imagem IKONOS II**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2005

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

V154c  
2005

Valente, Elton Luiz, 1963-

Caracterização da intensidade de degradação do solo e da cobertura vegetal de uma área no Médio Rio Doce, utilizando imagem IKONOS II. / Elton Luiz Valente - Viçosa: UFV, 2005.  
ix, 89f. : il. ; 29cm.

Orientador: Luiz Eduardo Dias.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 80-88.

1. Solos - Degradação - Minas Gerais. 2. Cobertura morta. 3. Processamento de imagens. I. Universidade Federal de Viçosa. II.Título.

CDD 22.ed. 631.64

Elton Luiz Valente

**Caracterização da intensidade de degradação do solo e da cobertura vegetal de uma área no Médio Rio Doce, utilizando imagem IKONOS II**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

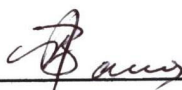
APROVADA: 21 de fevereiro de 2005



Prof. Elpídio Inácio Fernandes Filho  
(Conselheiro)



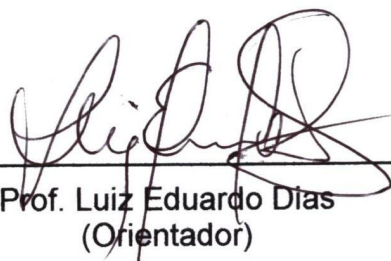
Prof. Reinaldo Bertola Cantarutti  
(Conselheiro)



Prof. Nairam Félix de Barros



Prof. Claudenir Fávero



Prof. Luiz Eduardo Dias  
(Orientador)

Sem os sonhadores, a humanidade não anda.

Dias Gomes

Ao povo brasileiro,  
a todos os meus familiares,  
à minha esposa Joseli Ferreira Lira e  
à minha filha Beatriz Viana Valente.

## **AGRADECIMENTOS**

À minha Família, pela base sólida sobre a qual se sustenta toda a minha vida.

À sociedade brasileira que, por meio do CNPq, financiou toda a logística de realização deste trabalho.

Ao Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realização do Curso de Mestrado.

Ao Professor Luiz Eduardo Dias, pela confiança, pelo apoio e pela orientação balizada em princípios éticos, democráticos e fraternos.

Ao Professor Elpídio Inácio Fernandes Filho, Conselheiro, pelo apoio e pela participação efetiva, valiosa e fundamental.

Ao Professor Reinaldo Bertola Cantarutti, Conselheiro, pelo apoio e pela valiosa contribuição em todas as fases do trabalho.

Ao Professor Nairam Felix Barros pela colaboração.

Ao Professor Claudenir Fávero, da Universidade Vale do Rio Doce – UNIVALE, pela colaboração.

Ao Professor Carlos Ernesto Schaefer pelo incentivo, pelo apoio e pelo curso de Pedogeomorfologia, “um divisor de águas”.

Ao Professor Liovando Marciano da Costa, pelo apoio e pela atenção dispensada no momento do meu reingresso na Universidade Federal de Viçosa.

Ao Professor João Carlos Ker pela valiosa contribuição, principalmente na fase de revisão bibliográfica.

Aos colegas Eliana de Souza e Edgley Pereira da Silva pelas colaborações, pelo apoio e pelo incentivo.

À Luciana de Castro, secretária da Pós-Graduação do DPS/UFV, pela eficiência, pela simpatia e por nos lembrar que, quase sempre, grandes dificuldades podem ser resolvidas com soluções muito simples.

Ao Sr. Vicente de Oliveira, Sr. Sebastião Geraldo de Barros e demais funcionários e professores do DPS/UFV.

A Gilmar Edilberto Valente, pelo apoio moral, fraterno, estratégico e logístico que facilitaram o meu retorno a Viçosa.

À Professora Aristeia Alves Azevedo, com extensão à sua família, pelo incentivo, pelos conselhos, pelas opiniões valiosas e pela ajuda incondicional.

Ao Advogado Antonio Víctor Valente, pelo incentivo e pelo apoio jurídico, moral, estratégico e logístico, desde a minha dispensa da EMATER-MG até a conclusão do Curso.

À Branca de Castilha, Presidente da União dos Vereadores do Estado de Minas Gerais, pelo incentivo e pelo apoio político antes e durante a realização do Curso.

Ao Professor Márcio Miranda Mendes, da Universidade Vale do Rio Doce – UNIVALE, pelo incentivo e pelo apoio.

Ao Ex-Coordenador Técnico da EMATER-MG Máximo Manoel dos Santos, pela cooperação profissional, pelo incentivo e pelo apoio.

À Diretora da Escola Estadual Frei Inocência, Edmar Rodrigues da Silva, pelo apoio.

À Jornalista Alessandra Mesquita, pelo apoio e pela colaboração.

Aos colegas pós-graduandos do DPS e demais colegas da UFV, pelo apoio moral.

## **BIOGRAFIA**

ELTON LUIZ VALENTE é filho de Antônio Ferreira Valente e Olga Assef Millen. Nasceu em 30 de agosto de 1963, no município de Itabirinha de Mantena, Estado de Minas Gerais.

Iniciou sua vida escolar em Itabirinha de Mantena; concluiu o ensino fundamental na cidade de Mantena (MG) e o ensino médio em Viçosa (MG).

Graduou-se Engenheiro Agrônomo em 1990, pela Universidade Federal de Viçosa – UFV.

Atuou como consultor técnico, autônomo, junto a produtores rurais e prefeituras no período de 1991 a 1997.

Exerceu a função de Professor em escola pública do Estado de Minas Gerais de 1992 a 2002.

Atuou como Extensionista Agropecuário na Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais – EMATER-MG no período de 1997 a 2003.

Em março de 2003, iniciou o Curso de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas na Universidade Federal de Viçosa – UFV.

## CONTEÚDO

	Página
Resumo.....	viii
Abstract.....	ix
1. Introdução.....	1
2. Revisão de literatura.....	4
2.1. Descrição geral da região do Médio Rio Doce.....	4
2.1.1. Aspectos gerais e localização.....	4
2.1.2. Hidrografia.....	5
2.1.3. Clima.....	7
2.1.4. Unidades geológicas predominantes.....	7
2.1.5. Unidades geomorfológicas predominantes.....	10
2.1.6. Solos.....	13
2.1.7. Vegetação.....	14
2.1.8. Uso e ocupação do solo: histórico.....	16
2.2. O processo de degradação ambiental: aspectos gerais.....	22
2.2.1. O processo de degradação de pastagens.....	24
2.2.2. Interpretação de níveis de degradação em pastagens: indicadores.....	29
2.3. O sensoriamento remoto como técnica de estudos ambientais.	32
2.3.1. Análise e interpretação de imagens obtidas por sensores orbitais.....	37

3. Material e métodos.....	38
3.1. Localização e caracterização da área selecionada para estudo.....	38
3.1.1. Localização.....	38
3.1.2. Hidrografia e clima.....	41
3.1.3. Constituição geológica.....	41
3.1.4. Constituição geomorfológica.....	41
3.1.5. Solos.....	43
3.1.6. Vegetação.....	44
3.1.7. Uso e ocupação do solo.....	44
3.2. A imagem de satélite da área selecionada.....	44
3.2.1. Análise da intensidade de degradação.....	44
3.2.2. Processamento da imagem.....	46
4. Resultados e discussão.....	49
4.1. A imagem de satélite.....	49
4.2. Separação de geoformas.....	49
4.3. Limitações e uso do solo.....	55
4.4. Cobertura vegetal.....	57
4.4.1. Origem e evolução das áreas desnudas.....	63
4.5. Geoambientes e degradação.....	67
4.6. Considerações gerais.....	75
5. Conclusões.....	78
6. Bibliografia.....	80
Anexo.....	89

## RESUMO

VALENTE, Elton Luiz, M.S., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2005. **Caracterização da intensidade de degradação do solo e da cobertura vegetal de uma área no Médio Rio Doce, utilizando imagem IKONOS II.** Orientador: Luiz Eduardo Dias. Conselheiros: Elpídio Inácio Fernandes Filho e Reinaldo Bertola Cantarutti.

A partir de uma imagem de satélite IKONOS II, de uma área no Médio Rio Doce, localizada entre os municípios de Governador Valadares e Tumiritinga, com 56,73 km<sup>2</sup>, foi realizada uma identificação da intensidade de degradação do solo e da cobertura vegetal. A análise da imagem foi realizada pelo sistema de fotointerpretação cujos resultados foram processados em softwares de SIG ArcInfo e ArcView (ESRI, 1996). Paralelamente foram empregados dados históricos da área e dados do meio físico contidos nos mapas de solos e mapas planialtimétricos, dos quais foram obtidas informações sobre hidrografia; relevo e rede viária. De forma complementar, foram efetuadas visitas ao campo para coleta de informações, compondo uma fonte primária de dados. Como resultados, foram obtidos os mapas de Geoformas, Cobertura Vegetal e Geoambientes e Degradação. Para obtenção do mapa de Geoambientes e Degradação foram identificadas as intensidades de degradação do solo e vegetação, tendo como referência as características presentes e pretéritas da área considerada. Foram efetuadas observações de campo sobre os processos e intensidades de degradação desses ambientes. Para tanto, foram elaboradas tabelas que correlacionam a intensidade de degradação com os indicadores presentes no solo e na vegetação da área estudada. Foram identificadas quatro classes de degradação (cd): cd 1 – muito baixa ou leve, que corresponde a 7,5% da área; cd 2 – baixa ou moderada, observada em 7,2% da área; cd 3 – alta ou forte – presente em 47,5% da área e cd 4 – muito alta ou muito forte – cuja ocorrência foi identificada em 37,8% da área.

## ABSTRACT

VALENTE, Elton Luiz, M.S., Universidade Federal de Viçosa, February 2005.  
**Characterization of the intensity of soil degradation and vegetal covering of an area in Médio Rio Doce, utilizing images of IKONOS II.**  
Adviser: Luiz Eduardo Dias. Committee members: Elpídio Inácio Fernandes Filho and Reinaldo Bertola Cantarutti.

An identification of the intensity of soil degradation and vegetal covering of an area in the Médio Rio Doce, located between the cities of Governador Valadares and Tumiritinga, with 56,73 km<sup>2</sup>, was established based on an image of satellite IKONOS II. The analysis of the image was performed by means of the system of photointerpretation whose results were processed using softwares of SIG ArcInfo and ArcView (ESRI, 1996). Parallely, historic data of the land area and data of the physical environment contained in soil maps and in planialtimetric maps were used. Information about hydrography, relief and roads were collected from planialtimetric maps. As a complementary approach, field trips were made in order to collect information, composing this way, a primary source of data. As a result, maps of Geoforms, Vegetal Covering, Geoenvironment and Degradation were attained. In order to obtain the map of Geoenvironment and Degradation, intensities of soil degradation as well as vegetation were identified having the present and preterit characteristics of the considered land area as reference. In addition, field observation about the degradation intensity process of these environments was performed. For such, tables which correlate the intensity of degradation to the indicative elements present in the soil and in the vegetation of the analyzed area were elaborated. According to the undertaken studies, four classes of degradation were identified (cd): cd 1 – very low or slight, which corresponds to 7,5% of the area; cd 2 – low or moderate, observed in 7,2% of the area; cd 3 – high or strong, present in 47,5% of the area and cd 4 – very high or very strong, whose occurrence was identified in 37,8% of the area.

## 1. INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica do Rio Doce, situada na região sudeste do Brasil, possui 83.400 km<sup>2</sup>, dos quais 86% pertencem ao estado de Minas Gerais e 14% encontram-se no Estado do Espírito Santo.

Historicamente, as primeiras tentativas de colonização do Vale do Rio Doce datam do século XVI. Vários fatores dificultaram a colonização desta área, dentre eles destacaram-se a pouca navegabilidade do rio, a resistência dos índios Botocudo ao contato com o colonizador, o clima e a alta incidência de doenças tropicais. Além disto, em determinado momento da história, a colonização foi proibida por força de lei do Estado. A Coroa Portuguesa cria uma espécie de reserva estratégica de recursos naturais e ao mesmo tempo protege as áreas de mineração dificultando o contrabando para o litoral.

No início do século XX, a construção da Estrada de Ferro Vitória-Minas – EFVM deu o impulso final para a colonização do Vale do Rio Doce e a ocupação se deu de forma mais acelerada a partir da década de 1930.

O processo de ocupação desta área foi caracterizado pela exploração maciça de recursos naturais. Não foram respeitadas as limitações do solo e dos outros recursos naturais numa região de relativa instabilidade ambiental, principalmente do solo e da água.

Essa região é caracterizada pela presença de relevo ondulado a forte ondulado, solos geralmente de boa fertilidade natural com predomínio de

Argissolos Vermelho-Amarelos e Latossolos Vermelho-Amarelos. Ao longo da história recente a ação antropogênica resultou na substituição da maior parte da vegetação nativa pela forrageira capim colonião (*Panicum maximum* Jacq.), que constitui hoje um pasto naturalizado na região. Contudo essa espécie vem sendo gradativamente substituída por forrageiras menos exigentes como as do gênero *Brachiaria* devido à queda na fertilidade desses solos.

Na década de 80 do séc XX, levantamentos realizados pela Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC já denunciavam que a maior parte dos solos do Médio Rio Doce apresentava nível de erosão muito alto e um processo erosivo acelerado. Praticamente inexitem reservas em áreas de proteção permanente como áreas de recarga, nascentes e matas ciliares.

A região apresenta altos índices de erosão laminar, assoreamento de corpos d'água e sensível diminuição do fluxo de drenagem da bacia hidrográfica. De acordo com o relatório da Comissão Interestadual Parlamentar de Estudos para o Desenvolvimento Sustentável da Bacia Hidrográfica do Rio Doce (CIPE-Rio Doce, 2001) a região é ameaçada por uma iminente escassez de água. Segundo dados da EMATER MG (1999) o Rio Doce e seus afluentes apresentam um avançado grau de assoreamento, sendo que alguns já estão se tornando intermitentes, a exemplo do Rio Itambacurí, que em meados de 1998 secou completamente.

O histórico da região nos mostra que, em poucas décadas, o que outrora fora um trecho peculiar da Mata Atlântica, recordista mundial em biodiversidade, desenvolvido sobre solos eutróficos e epieutróficos, transformou-se em pastagens degradadas sobre terras exauridas, com acentuado grau de erosão. Os Municípios da região, cuja base econômica se fundamenta na exploração agropecuária, estão em processo generalizado de descapitalização e empobrecimento. Os problemas socioeconômicos desses municípios agravam-se a cada dia.

Os dados disponíveis de avaliação ambiental da região são mais informativos do que técnicos. De acordo com Fávero (2001), a região do Médio Rio Doce é carente de estudos que evidenciem o estágio de degradação em que se encontra e apontem as possibilidades de uso sustentável de seus recursos naturais.

É necessário e urgente que se estabeleçam estudos de avaliação técnica do real estágio de degradação ambiental da região e, a partir daí, estabelecer propostas de intervenção específicas que objetivem a recuperação da sustentabilidade dos recursos naturais.

O contexto de avaliação técnica da degradação de pastagens, bem como de todos os outros componentes ambientais, envolve a multidisciplinaridade entre muitas áreas do conhecimento humano como pedologia, biologia vegetal, biologia animal, ecologia, climatologia, estatística, engenharia civil, sociologia, antropologia e geoprocessamento, dentre outras.

Com os avanços tecnológicos dos recursos de geoprocessamento e do Sistema de Informações Geográficas (SIG), tem-se buscado a utilização maciça dessas ferramentas em muitas áreas, principalmente na área ambiental. As ferramentas de geoprocessamento, quando comparadas aos métodos tradicionalmente utilizados, proporcionam relevante economia de tempo e recursos, bem como são adequadas às mais diversas propostas de pesquisa, levando a resultados semelhantes ou até melhores que os tradicionais.

Em face deste contexto, o presente trabalho teve como objetivo geral a caracterização geoambiental de uma área localizada na região do Médio Rio Doce e, como objetivo específico, identificar o real estágio de degradação do solo e da cobertura vegetal nessa área, utilizando-se imagem de satélite IKONOS II e as ferramentas de geoprocessamento e do Sistema de Informações Geográficas (SIG).

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. Descrição geral da região do Médio Rio Doce**

#### **2.1.1. Aspectos gerais e localização**

A Bacia hidrográfica do Rio Doce pertence ao Domínio Morfoclimático dos Mares de Morros (Ab'Saber, 1996). Região acidentada coberta originalmente por floresta tropical, com substrato de rochas cristalinas, principalmente gnáissicas e graníticas (Rezende & Resende, 1996; Resende et al., 2002).

A morfogênese dos Mares de Morros caracteriza-se pela predominância de processos químicos de alteração e de movimentos de massa generalizados. As rochas encontram-se profundamente decompostas, sendo o manto de intemperismo bastante espesso e formado pela acumulação de vários colúvios e paleossolos separados geralmente por paleopavimentos rudáceos, com rede de drenagem densa e perene. A mamelonização é extensiva, atingindo todos os níveis de pediplanação, pedimentação e mesmo terraços fluviais embutidos nos vários compartimentos. Os “pães-de-açúcar” são frequentes em certas áreas e as planícies de inundação caracterizam-se pela presença de meandros (Bigarella et al., 1994).

É um ambiente cujas condições climáticas são suficientes para manter uma floresta, variando de perenifólia a caducifólia. A variação de temperaturas

nessa unidade morfoclimática acompanha a grande variação de cotas de quase ao nível do mar até próximo de 1500 m. O solo, nesse domínio, tende a ser muito profundo, principalmente o horizonte Cr, mas apresenta grandes afloramentos de rochas, em particular aquelas de estrutura granítica, ou seja, massiva. Ocorre uma desproporção típica entre as profundidades do sólum<sup>1</sup> e do solo, caracterizando o processo francamente erosivo de rejuvenescimento pedogeomorfológico desse Domínio. Em grandes trechos são solos velhos, empobrecidos, sendo carregados. Apresenta solos mais jovens e férteis nas partes mais baixas, que vão penetrando vale acima, proporcionando novas relações homem-solo (Rezende & Resende, 1996; Resende et al., 2002).

A Bacia Hidrográfica do Rio Doce compreende três regiões distintas: o Alto Rio Doce, o Médio Rio Doce e o Baixo Rio Doce. Cada uma dessas regiões tem suas características próprias e apresenta níveis diferentes de preservação e degradação ambiental (Campos, 2000).

Compreende-se como Médio Rio Doce a região fisiográfica do Estado de Minas Gerais, localizada entre a foz do Rio Piracicaba, no município de Ipatinga, e a foz do Rio Manhuaçu, no município de Aimorés, divisa com o Estado do Espírito Santo. *Figura 1.*

Limita-se ao norte com os vales dos rios Jequitinhonha e Mucuri, a leste com o vale do Rio São Mateus e o Estado do Espírito Santo, ao sul com a Zona da Mata e a oeste com a Zona Metalúrgica.

### **2.1.2. Hidrografia**

O Rio Doce, em sua porção mediana, tem como principais afluentes, pela margem esquerda, os rios Suaçuí Grande, Santo Antônio, Correntes, Suaçuí Pequeno, Emê, Ribeirão Laranjeiras e Ribeirão Santa Helena; pela margem direita, os rios Manhuaçu, Cuieté e Ribeirão Traíra.

---

<sup>1</sup> O sólum constitui um perfil incompleto do solo, formado pelos horizontes A e B, embora nele atuem os principais processos pedogenéticos (Bigarella et al., 1996).

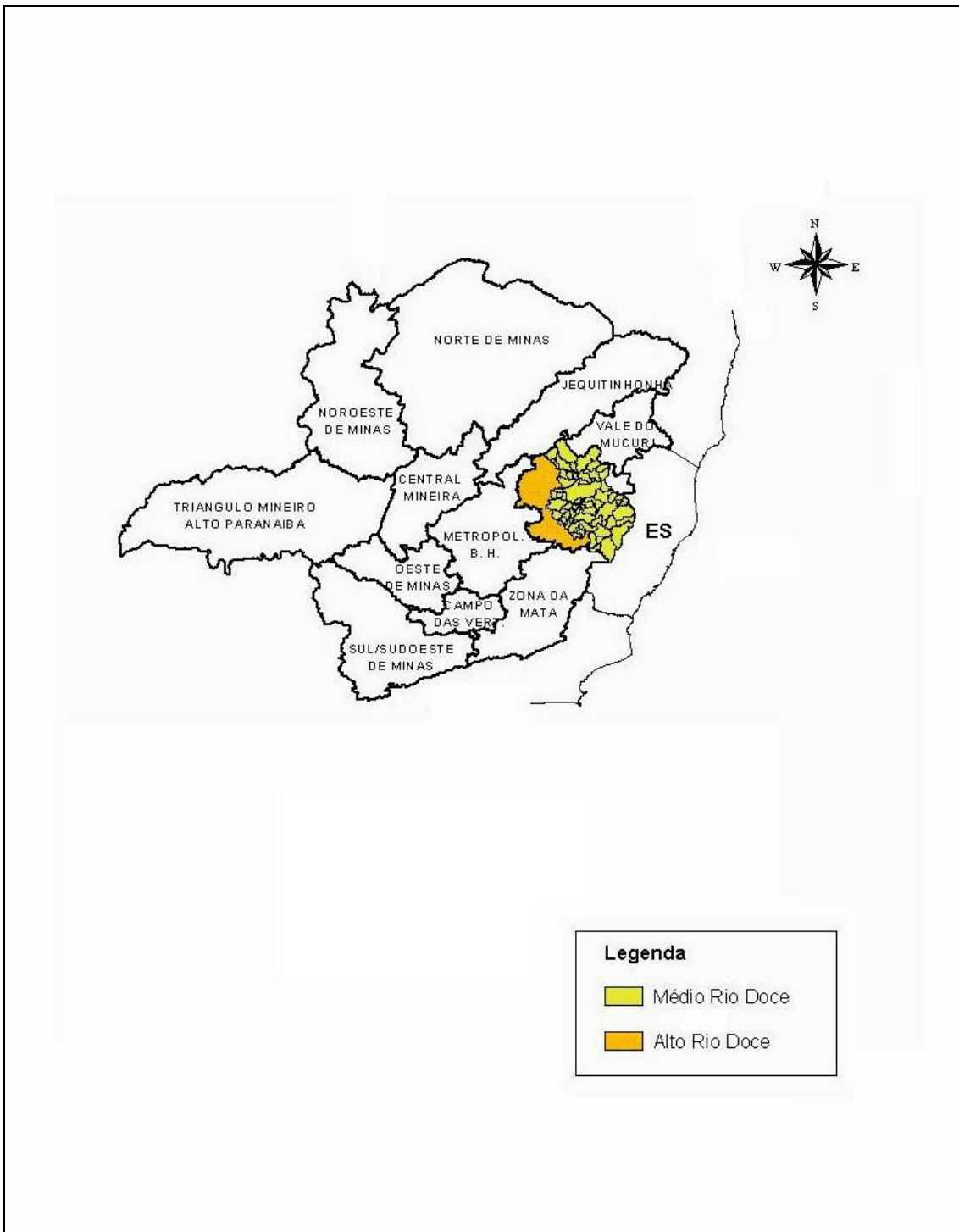


Figura 01: Croqui de localização do Médio Rio Doce.

### **2.1.3. Clima**

Pela classificação de Köppen, o clima predominante na região do Médio Rio Doce é o Aw (tropical úmido-megatérmico – das savanas, em que a temperatura média do mês mais frio é superior a 18 °C, com estação seca no inverno e chuvas concentradas no verão, sendo a precipitação do mês mais seco inferior a 60 mm). As maiores chuvas ocorrem no mês de dezembro ou janeiro (Baruqui, 1982; Projeto RADAMBRASIL, 1987). A pluviosidade média anual oscila entre 900 a 1400 mm.

Existem exceções, como no município de Aimorés, onde a precipitação média anual é inferior a 700 mm e o clima, pela classificação de Köppen é o BSw, definido como clima seco, com chuvas no verão e precipitações anuais sempre inferiores a 1000 mm e geralmente inferiores a 750 mm.

O balanço hídrico da região, invariavelmente, é negativo. O déficit hídrico situa-se entre 73 mm (São José do Jacuri) e 560 mm (Aimorés), com média de 192 mm (Baruqui, 1982).

### **2.1.4. Unidades geológicas predominantes**

A região do Médio Rio Doce, predominantemente, é embasada pelo Complexo Cristalino, rochas datadas do Pré-Cambriano, constituídas por gnaisses diversos e migmatitos (Baruqui, 1982), com variado grau de metamorfismo e uma pequena parte por formações sedimentares recentes, de idade Terciária e Quaternária (Brasil, 1970). Restritamente, ocorrem Metassedimentos, compreendendo quartzitos, filitos e micaxistos (Baruqui, 1982). Depósitos quaternários ocorrem por toda a região do Rio Doce e adjacências, ao longo dos vales e vias fluviais (Brasil, 1970).

As formações Pré-Cambrianas apresentam rochas ígneas intrusivas sob forma de batólitos e diques, mas a contribuição dessas rochas intrusivas para a formação dos solos é irrelevante, pois apresentam ocorrências localmente restritas; por outro lado, têm grande valor como fonte de depósitos de minerais economicamente exploráveis (Brasil, 1970).

O Pré-Cambriano Indiviso aflora na maior parte da área, compreendendo rochas gnáissicas e migmatitos, caracterizadas por apresentarem um elevado

grau de metamorfismo, com tendência à granitização geral (Brasil, 1970, citado por Baruqui, 1982).

As rochas gnáissicas apresentam composição extrema, variando de tipos mais comumente ácidos, como os gnaisses de composição granítica, granodiorítica e monzonítica até os mais básicos de composição do gabro, norito e charnoquito básico. Os gnaisses de composição intermediária, como os dioríticos e tonalíticos, graduam-se entre os dois grupos extremos. A granulação dessas rochas é muito variada, de fina a grosseira, bem como a textura que varia de granítica a gnáissica, não sendo rara a ocorrência de rochas porfiríticas. Os migmatitos são ácidos, na maior parte apresentando variações intermediárias; geralmente ocorrem em extensas faixas entremeadas dos gnaisses de caráter ácido e intermediário, ou se graduam lateralmente para estes tipos de rochas. Inclusos nos migmatitos, ocorrem “xenólitos” de rochas básicas, como amfibolitos, de cor escura, granulação fina e textura homogênea (Brasil, 1970).

A *Série Paraíba* compreende gnaisses, migmatitos e charnoquitos cujo caráter varia de ácido a básico. Apresentam litologia semelhante à das rochas do Pré-Cambriano Indiviso. Afloram desde o vale do Paraíba, no Estado do Rio de Janeiro, e seguem pelo Estado de Minas Gerais até o município de Governador Valadares, chegando até a fronteira com o Estado do Espírito Santo (Brasil, 1970).

A *Série Minas* ocorre ao sul de Governador Valadares, bem como na região do município de Guanhães, a noroeste do Vale do Rio Doce; compõe-se de metassedimentos representados principalmente por quartizitos, filitos e micaxistos (Baruqui, 1982).

Na região de Guanhães e adjacências, intrusionando as formações pré-cambrianas, afloram rochas ígneas ácidas, representadas por batólitos de granito e granodiorito (Brasil, 1970; Baruqui, 1982).

De um modo geral, na região do Médio Rio Doce, são descritas as seguintes unidades geológicas: **p<sub>egn</sub>** – *Associação de gnaisses e granitos diversos*, predominantes na região, apresentando como rochas principais os gnaisses kinzigíticos, gnaisses charnockíticos, gnaisses facoidais, gnaisses homogêneos leucocráticos, gnaisses bandados, ortognaisses e veios pegmatóides; compondo tais rochas, predominantemente, encontram-se os

minerais quartzo, feldspato, muscovita, biotita e anfibólio; sobre as rochas gnáissicas encontra-se um manto de intemperismo profundo (Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC, 1983), onde os afloramentos de rocha são raros (Baruqui, 1982; CETEC, 1983).  $\beta$  – *Associação charnokítica*, com charnokitos, granulitos, anfibolitos, dioritos, gabros, piroxenitos e migmatitos, compostas, principalmente, pelos minerais quartzo, feldspato, micas, olivina, anfibólio e piroxênio, com um manto de intemperismo geralmente menor que 10 m de espessura, onde os afloramentos rochosos são freqüentes. Importa ressaltar que é nesta unidade geológica, na faixa dos migmatitos, que se encontra a suíte pegmatítica, portadora de pedras preciosas, feldspato, caulim e micas (CETEC, 1983). Os pegmatitos são considerados como produtos finais de uma seqüência de eventos que ocorre durante o resfriamento e diferenciação do magma. Com o progresso da cristalização de um magma granítico ou sienítico, os elementos mais raros concentram-se na porção líquida residual formada pela água e pelos produtos voláteis, nesse líquido concentram-se os elementos mais leves (boro, lítio, berilo, entre outros), bem como os elementos mais pesados (wolfrânio, estanho, nióbio, tântalo e outros) cujos átomos são respectivamente muito pequenos ou muito grandes para serem incorporados na estrutura cristalinas dos principais minerais formadores de rocha. Essa porção enriquecida do magma é altamente móvel e fluida, sendo facilmente injetada nas rochas adjacentes onde o pegmatito cristaliza na forma de segregações irregulares, veios ou pequenos diques e sills formando depósitos de grande interesse econômico, contendo numerosos minerais raros, como turmalina, berilo, topázio, dentre muitos outros (Bigarella et al., 1994). A ampla distribuição geográfica de corpos pegmatíticos encerra, portanto, importantes mineralizações litíferas e uma infinidade de minerais de interesse gemológico; registram-se ainda nestes corpos quantidades apreciáveis de feldspato, muscovita e caulim, bem como ocorrências subordinadas de columbita, tantalita e cassiterita; e, mais raramente, registra-se a presença de polucita (Projeto RADAMBRASIL, 1987).  $\gamma$  – *Granito intrusivo*; constituindo esta unidade geológica encontram-se, principalmente, granodioritos, quartzomonzonitos, tonalitos, dioritos e granitóides porfiróides; predominam nestas rochas os minerais quartzo, feldspato, biotita e muscovita; nesta unidade o manto de intemperismo é pouco espesso, sendo comuns os afloramentos de

rocha. **Qa** – *Coberturas aluvionares*, constituídas principalmente por areias, argilas e cascalhos, apresentando espessura variável em função da textura (CETEC, 1983).

Os divisores entre as bacias do Médio Rio Doce e São Mateus, localizados nos municípios mineiros de São Pedro Pescador, Nova Mógica e São José do Divino, são embasados principalmente por plutonitos e gnaisses mesocráticos do Complexo Paraíba do Sul (Charmelo, 2000). Nessa área o modelado revela influência marcante do estilo geotectônico das rochas proterozóicas, gnaisses e metatexitos, do complexo Paraíba do Sul, com granitos e granodioritos subordinados, das Suítes Galiléia e Aimorés (Schaefer, et al. 2000).

### **2.1.5. Unidades geomorfológicas predominantes**

As unidades geomorfológicas da região são constituídas pela Depressão do Rio Doce e pelos Planaltos Dissecados do Centro-Sul e Leste de Minas Gerais (CETEC, 1983).

Destacam-se na paisagem as elevações e as baixadas. As elevações podem apresentar-se isoladas ou formando extensas cadeias (Baruqui, 1982). As baixadas, nas proximidades das calhas dos rios, são constituídas pelos terraços fluviais, que podem ocorrer em vários níveis, com ou sem a presença dos leitos maiores (Vitorino, 1986).

Os terraços representam antigas planícies de inundações, com feições morfológicas de patamares aplainados, de largura variada, limitados por encostas declivosas em direção ao curso de água e às elevações (Naime, 1988).

Nos vales anteriormente colmatados, originados por oscilações climáticas, em condições mais úmidas que precederam às atuais, houve rápido aprofundamento dos cursos de água que dessecam o material inconsolidado, muito espesso, sem que, contudo, o novo entalhe atingisse o embasamento rochoso, propiciando o estabelecimento do terraço. Admite-se também que grande parte do material que hoje constitui a parte superior do terraço já fora pedogenizado antes de sua deposição, ou seja, que o material foi proveniente,

sobretudo, da erosão das vertentes, representando forte evidência de intenso pré-intemperismo antes da atual fase de pedogênese (Corrêa, 1984).

As mudanças profundas dos climas vigentes no Quaternário afetaram todo o globo terrestre. Durante as glaciações os processos de degradação lateral foram importantes não apenas nas regiões periglaciais, como também nas regiões de menor latitude. Nessas ocasiões, as condições climáticas severas permitiram um desenvolvimento quase que global de superfícies aplainadas associadas a depósitos correlativos. Esses sedimentos parecem ser sincrônomos sobre grandes distâncias geográficas (Bigarella et al., 2003).

O Médio Rio Doce é uma região rica em depósitos quaternários bastante desenvolvidos. Suas feições, contrastantes entre si, quando associadas às feições geomorfológicas, permitem apresentar esta região como paradigma de um modelo de evolução quaternária no Brasil. Destaca-se, na área, a grande quantidade de lagos, alguns secos e completamente colmatados, outros ainda em processo de evolução (Pflug, 1969, citado por Petri & Fúlfaro, 1983).

Os Rios Doce e Piracicaba, principais coletores da área em questão, carrearam volumes consideráveis de clásticos. Partículas mais grossas foram retidas em compartimentos descontínuos, cujos gradientes rebaixados sugerem menor energia, o que explica a gênese de pacotes arenosos, francamente quartzosos, cuja espessura pode ultrapassar 35 metros. Alguns tributários acompanharam, por sedimentação, a subida do nível de base, colmatando gradativamente seus próprios leitos. Os rios de menor área de coleta não apresentavam carga sólida suficiente para elevar os níveis de seus leitos por colmatação, conseqüentemente, sofreram processo de afogamento; foram barrados nas suas embocaduras pela rápida deposição dos detritos dos coletores principais. Esse processo deu origem à densa rede de lagos distribuídos ao longo de toda a região do Médio Rio Doce, a montante e a jusante do Rio Piracicaba (Pflug, 1969, citado por Petri & Fúlfaro, 1983; Bigarella et al., 2003). Muitos desses lagos conservaram-se até os dias atuais e podem apresentar lâminas d'água com até 30m de profundidade. Dinâmica semelhante envolveu a bacia do Rio Suaçuí Grande, tributário do Rio Doce ao norte de Governador Valadares, bem como o Baixo Rio Doce, nas proximidades de seu delta. No presente, dinâmica semelhante ocorre na região amazônica (Petri & Fúlfaro, 1983).

A Depressão do Médio Rio Doce apresenta uma configuração irregular, marcada por reentrâncias decorrentes de sua penetração entre as elevações que compõem as unidades circunjacentes, acompanhando os vales dos principais rios. Essas penetrações são marcadas localmente por desníveis de até mais de 100 m. Sua litologia, do Proterozóico, é influenciada por dobramentos, fraturamentos e falhamentos demonstrados pelo arranjo regional das feições, refletindo direções preferenciais NO-NE e N-S. Nessa depressão, a ação fluvial, explorando as fraquezas litológicas e adaptando-se à rede de fraturas e falhas, orientou o entalhe dos vales por erosão remontante, ocasionando o recuo da frente escarpada, formando anfiteatros. Como exemplo deste fato, evidenciado em vários setores da unidade, podemos citar o vale do Rio Itambacuri que, em longo trecho de seu percurso, corre paralelo a uma escarpa adaptada à falha da Serra Morena, formando um alvéolo alongado. O modelado compreende feições colinosas, ressaltadas localmente formando pontões, cristas e linhas de cumeadas. Alguns mais expressivos formam *hogbacks* a exemplo do que ocorre na margem direita do Rio Itambacuri, em Frei Inocência (MG). Tais feições resultam de uma dissecação homogênea, destacada por densidades de drenagem fina, média e grosseira, com classes de aprofundamento baixo e médio. A declividade das encostas situa-se em torno de 5 a 11°, raramente atinge cerca de 24° nas proximidades das elevações residuais onde os entalhes passam a ser mais fortes. Entremeando-se a estes, ocorrem modelados de dissecação diferencial ressaltados por feições aguçadas onde, geralmente, a rocha aflora nos pontões, cristas e *hogbacks*. Entalhes mais profundos e encostas mais inclinadas caracterizam estes modelados, representados por classes de aprofundamento baixo, médio e alto. As encostas registram declividades da ordem de 11 a 24°, excepcionalmente 37°, o que ocorre nas imediações de Frei Inocência (MG), onde o relevo assume feições de *hogback*, apresentando entalhes profundos. A ação de climas oscilantes associada à constituição litológica contribui para a gênese de espessos mantos de intemperismo, permitindo o desenvolvimento de solos localmente profundos tipo Latossolos e Argissolos (anteriormente classificados como Podzólicos). O impacto da ação antropogênica sobre a cobertura vegetal contribui para a remoção desses mantos de intemperismo, acelerando os processos morfodinâmicos, indicados

pelo ravinamento ativo e em vias de ativação, com exposição da rocha sã em alguns casos. A remobilização do material alterado possibilita a gênese de depósitos coluviais, ocasionalmente amarelados e de textura argilosa e areno-argilosa. O Rio Doce representa o principal curso fluvial da área (Projeto RADAMBRASIL, 1987), percorrendo-a no sentido SO-NE a montante de Governador Valadares (MG), acompanhando a geossutura entre duas faixas litoestruturais na direção da Placa Sul-Americana, quando então, a jusante de Governador Valadares (MG), muda a direção de seu curso para NO-SE, capturado por falhas transcorrentes, transversais à costa oceânica (Fávero, 2001); apresenta segmentos retilíneos e angulosidades, decorrentes de controle estrutural e trechos alargados com planícies fluviais, sobretudo nas confluências com alguns de seus afluentes, a exemplo dos rios Suaçuí Grande e Caratinga. As planícies fluviais são destacadas por terraços arenosos e argilo-arenosos com cerca de 3 m de desnível; ocasionalmente esses terraços sofrem inundações pelas águas das cheias excepcionais que ocorrem na região (Projeto RADAMBRASIL, 1987).

#### **2.1.6. Solos**

Os solos associados à Floresta Tropical de Leste, no Domínio Morfoclimático dos Mares de Morros, são predominantemente constituídos por Latossolos Vermelho-Amarelos de textura argilosa, encontrados em zonas de topografia mamelonar, bem como nos divisores das principais bacias hidrográficas; e os Argissolos Vermelho-Amarelos de textura argilosa, são encontrados ao longo dos vales, nas áreas com estação seca mais acentuada (Bigarella et al., 1994).

Do ponto de vista pedológico, as áreas abrangidas pelas bacias dos rios de Leste, são dominadas por Latossolos com cores vermelho-amarelas nas áreas mais elevadas de cabeceiras de drenagem, em relevos aplainados ou dissecados; Cambissolos e Argissolos são dominantes onde houve um rejuvenescimento mais acentuado da paisagem, com preponderância da morfogênese em regime mais sazonal; Neossolos Litólicos e Afloramentos de Rochas ocorrem sob forte condicionamento geotectônico e climático, em áreas de cristas e pontões (Schaefer, et al. 2000).

Na região do Médio Rio Doce, as unidades pedológicas predominantes são os Argissolos Vermelho-Amarelos Eutróficos, os Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos, Cambissolos e os Neossolos Flúvicos Tb Eutróficos.

É comum encontrar os Latossolos ocupando as cotas mais elevadas como o topo das elevações, o terço superior e, às vezes, o terço médio das encostas. Os Argissolos ocupam as cotas mais baixas como o terço inferior e, às vezes, o terço médio das encostas. Tanto os Latossolos como os Argissolos podem revestir toda a encosta das elevações, do sopé ao topo, porém o mais comum é a ocorrência de ambos em topossequência. Os Neossolos Flúvicos, geralmente eutróficos, ocorrem nos leitos maiores dos rios (Baruqui, 1982).

Nos terraços, a presença de Argissolos Vermelho-Amarelos, distróficos ou eutróficos, parece ser dominante (Vitorino, 1986).

Embora sejam originados de depósitos aluviais, os solos de terraços na região do Rio Doce são muito homogêneos quanto à textura, estrutura e mineralogia. A capacidade de troca de cátions desses solos é baixa, apesar disso os teores relativamente elevados de cálcio, magnésio e potássio que podem ser encontrados no perfil desses solos indicam um sistema conservador de nutrientes. Os baixos teores de carbono orgânico dos solos de terraços, comparativamente aos solos das elevações, evidenciam um ambiente favorável aos organismos decompositores de matéria orgânica (Naime, 1988).

Outras classes de solos, como os Neossolos Litólicos, Gleissolos, dentre outros, ocorrem de forma localizada na região e não apresentam, relativamente, a mesma expressividade de ocorrência que as classes anteriormente citadas.

### **2.1.7. Vegetação**

O Domínio Morfoclimático dos Mares de Morros era originalmente coberto por floresta tropical, podendo variar de perenifólia a caducifólia (Ab'Saber, 1970; Rezende & Resende, 1996). Tal vegetação, também denominada Floresta Atlântica (Minas Gerais, 1980, citado por Baruqui, 1982) ou floresta pluvial tropical ou ainda floresta tropical de leste (Bigarella et al., 1994), penetrava em Minas Gerais pelos lados sul, sudeste, leste e parte do nordeste (Minas Gerais, 1980, citado por Baruqui, 1982). Ressalta-se o

avançado grau de degradação a que são submetidas essas formações vegetais, degenerando para uma vegetação secundária ou sendo substituídas por pastagens e áreas de cultivo (Projeto RADAMBRASIL, 1987).

Da floresta original no Médio Rio Doce, como conseqüência direta da ação antropogênica, restam poucos fragmentos florestais e pequenas áreas de preservação como o Parque Florestal do Rio Doce.

Nessa região, de acordo com o regime hidrológico local, a floresta pode ser classificada como perenifólia, subperenifólia e subcaducifólia (Brasil, 1970; Baruqui, 1982). Podendo ser denominada, por outra classificação, como floresta ombrófila densa e aberta, floresta estacional semidecidual e floresta estacional decidual (Projeto RADAMBRASIL, 1987; IBGE, 1992; Almeida, 2000).

A Floresta Perenifólia apresenta-se sempre verde durante todo o ano. Ocorre em lugares elevados no interior com altitudes acima de 700 m e, sua similar, a Floresta Perenifólia de várzea, possui ocorrência estreitamente relacionada com o relevo condicionando drenagem (Brasil, 1970). Encontra-se, portanto, às margens dos cursos d'água ou onde a precipitação excede os 1400 mm anuais (Baruqui, 1982).

A Floresta Subperenifólia, predominante na área considerada, apresenta pequena percentagem de espécies decíduas durante a estação seca, mantendo-se sempre verde no restante do ano (Baruqui, 1982). Muitas espécies que se mostram perenifólias, compondo o estrato superior, apresentam, entretanto, propensão a perderem suas folhas em estação seca anormal, são espécies facultativamente decíduas. A Floresta Subperenifólia ocorre, na maioria dos casos, em locais com estação seca de 2 a 3 meses e precipitação total anual menor que 1400 mm. Sua similar, a Floresta Subperenifólia de várzea, ocasionalmente higrófila, encontra-se às margens dos rios, riachos e córregos nas áreas de florestas subperenifólia e subcaducifólia, intercalando a paisagem (Brasil, 1970).

A Floresta Subcaducifólia é composta por considerável quantidade de espécies decíduas durante o período seco do ano (Baruqui, 1982), caracteriza-se por perder parcialmente as folhas na estação seca; são espécies predominantemente decíduas; estrato inferior sempre verde; mesófilas. Ocorre, na

maioria dos casos, em áreas com estação seca de 3 a 5 meses e precipitação total anual menor que 1000 mm (Brasil, 1970).

De um modo geral, a Floresta Caducifólia ou seus remanescentes, na região considerada, ocorre em pequenas áreas de encostas ou terços superiores dos morros, em condições de solos rasos, com pouca capacidade de retenção de umidade, como Cambissolos Háplicos e Neossolos Litólicos. Neste contexto, merece atenção um fenômeno que vem ocorrendo na região do Médio Rio Doce que é a mudança na composição botânica de determinadas áreas, com ocorrência de fragmentos monodominantes de aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allem.), espécie caducifólia que não raro ocupa toda a topossequência de determinados sítios e, aparentemente, o fenômeno está associado mais ao tipo de uso e manejo que é dado ao sistema do que às classes de solos ali presentes.

#### **2.1.8. Uso e ocupação do solo: histórico**

*Recebendo um 'não' como resposta à sua inusitada pergunta se aquele rio tinha dono, o nordestino respondeu que por ali ficaria. E ficou mesmo; ele e milhares de outros, toda uma legião de escorraçados do latifúndio e de tangidos pela seca do nordeste dramático. Haviam descoberto uma terra onde os rios não tinham dono; matas imensas a perder de vista, frondosas como o quê; água em cada quebrada, e sem dono, sem dono o rio, sem dono a terra (Pereira, 1988).*

A região do Médio Rio Doce está inserida numa área potencialmente favorável ao desenvolvimento de atividades econômicas. As perspectivas de recursos naturais são excelentes para a exploração do solo, da vegetação, dos minerais e dos recursos hídricos. Tais características favorecem a fixação do homem e o desenvolvimento econômico e social da região. Esta unidade geográfica conta ainda com o apoio de uma rede de comunicação eficiente representada por rodovias federais e estaduais pavimentadas e pela ferrovia Vitória-Minas que faz a conexão entre as capitais dos estados do Espírito Santo e Minas Gerais passando por importantes cidades da região (Projeto RADAMBRASIL, 1987). Por outro lado, o curso histórico de uso e ocupação do solo deu-se de forma insustentável, instaurando condições e processos

degenerativos dos recursos naturais que convergiram para os problemas ambientais, sociais e econômicos enfrentados no presente.

Historicamente, os primeiros habitantes da região foram os índios Botocudo, nome pejorativo, dado pelos portugueses, relacionado ao ornamento em forma de disco usado pelos índios nas orelhas e lábios inferiores, feito de madeira de barriguda (*Cavanillesia arbórea* K. Schum.). Eram chamados de Borum em sua própria língua. Este grupo indígena pertencia à grande família Aimoré, nome dado pelos Tupis aos povos que não viviam no litoral. Eram encontrados no Leste de Minas Gerais, Espírito Santo e Sul da Bahia, habitando principalmente as bacias do Rio Doce, Rio Mucuri e Rio São Mateus ou *Cricaré*, na língua dos índios. Podiam ser encontrados nos vales dos rios Jequitinhonha e São Francisco. Estes índios eram temidos por sua bravura, mas grande parte das lendas que envolviam o comportamento desse povo era apenas boatos do explorador português com o objetivo de justificar os atos desumanos dos próprios portugueses contra os índios. Dizia-se, inclusive, que eram antropófagos; não existem nem mesmo indícios históricos de antropofagia entre essa gente. Mas a campanha difamatória foi tão violenta que *Botocudo* figura ainda hoje no Dicionário da Língua Portuguesa como sinônimo de *Ignorância*, *Rusticidade*, usado como xingamento entre desafetos. O fato é que os Botocudo foram dizimados. Na década de 1940, pequenos grupos de índios eram encontrados perambulando pelas estradas, famintos e sem rumo. Aqueles que sobreviveram foram miscigenados com os novos “donos” daquelas terras. É comum, nos dias atuais, encontrar nessa região famílias cuja árvore genealógica registra ascendência indígena direta.

No final do século XVIII houve um esforço político, financiado pelos governadores da Capitania de Minas Gerais, para a colonização dos “Sertões de Leste”. Esse processo inicia-se primeiramente com a presença militar e missionária na região. Posteriormente, durante todo o século XIX, ocorre um fluxo migratório para os vales dos rios Doce, São Mateus e Mucuri. Mas a ocupação se dá de forma mais efetiva a partir de meados do século XX com a transposição do Rio Doce pela ferrovia Vitória-Minas na década de 1930 e pela construção da rodovia Rio-Bahia nas décadas de 1940 e 1950.

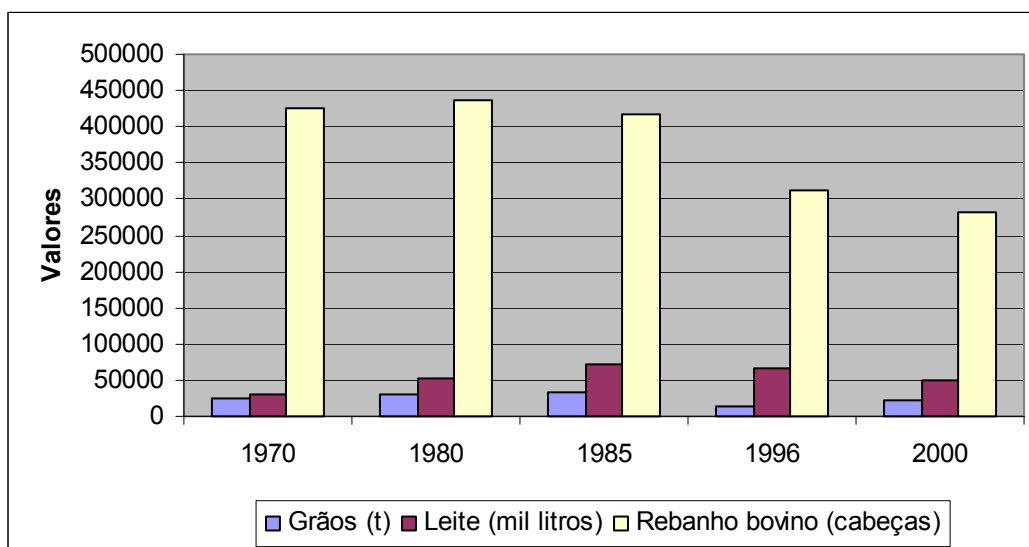
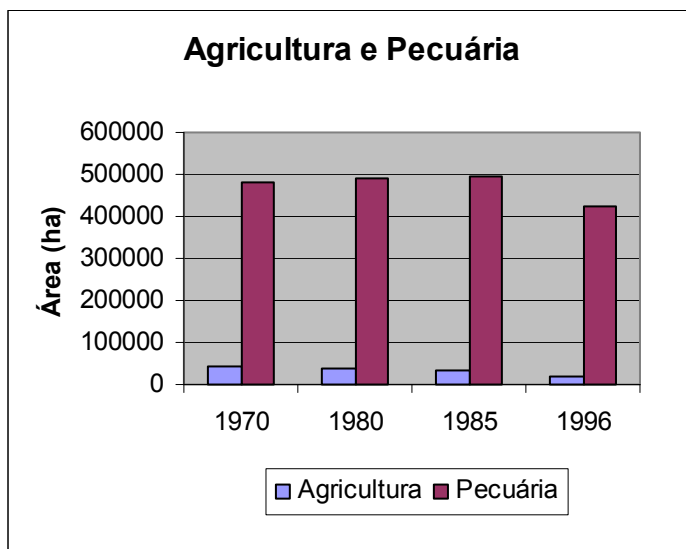
Naquele período, a expansão demográfica foi sustentada pelo aumento das atividades econômicas na região, como a intensificação da atividade

carvoeira, exploração de madeira e multiplicação das serrarias. Concomitantemente, houve a introdução da cultura comercial de cana-de-açúcar, a expansão da pecuária extensiva e das culturas de subsistência (Strauch, 1958, citado por Fávero, 2001). A exploração de recursos minerais como mica e pedras semipreciosas teve, também, importância econômica relevante no processo de colonização dessa área.

A pecuária foi paulatinamente firmando-se como principal atividade econômica do Médio Rio Doce, de forma extensiva e insustentável, tendo o capim colômbio (*Panicum maximum* Jacq.) como principal forrageira. Nesse ambiente, historicamente, as queimadas foram utilizadas de forma indiscriminada como técnica de manejo das pastagens e foram também negligenciadas todas as técnicas de manejo e conservação do solo e da água.

Todo esse processo de uso e ocupação do solo culminou no atual estágio de degradação ambiental, empobrecimento econômico e baixo nível de desenvolvimento social da grande maioria dos municípios da região.

Essa realidade pode ser constatada quando se analisam os dados do IBGE nos censos agropecuários de 1970 a 1996 e dados de produção agropecuária de 2002 para a região do Médio Rio Doce. Verifica-se um decréscimo das áreas destinadas às lavouras e, na década de 1980, um ligeiro aumento das áreas destinadas à pecuária. Mesmo com o incremento das áreas de pastagens ocorre, a partir da década de 1980, um decréscimo acentuado na produção de bovinos, bem como um decréscimo das áreas destinadas a pastagens. Neste mesmo período, a produção de leite se mantinha relativamente estável, mas também sofre declínio nos anos subsequentes (IBGE, 1970; 1980; 1985; 1996; 2002). *Figura 02.*

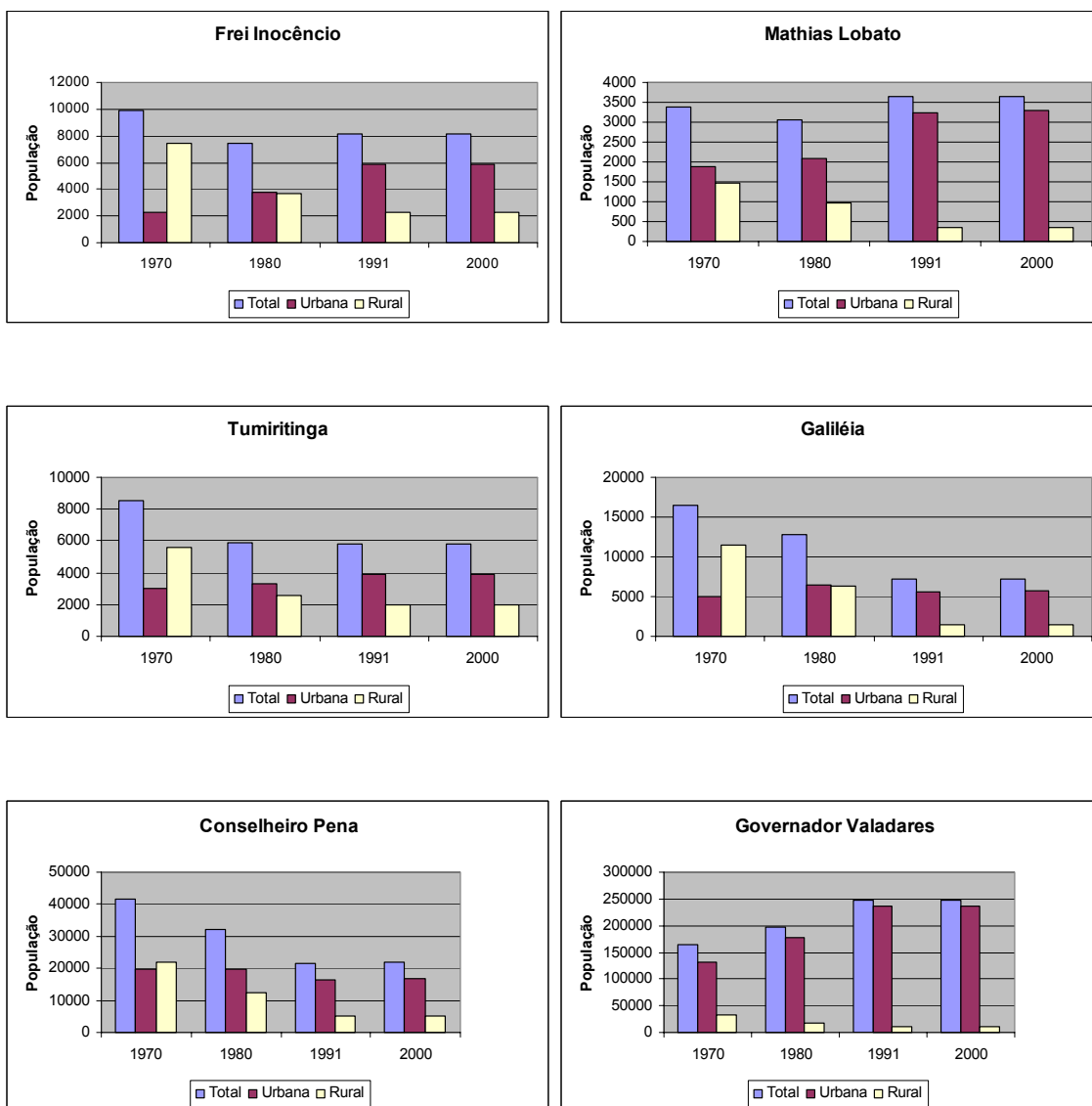


Fonte: IBGE, 1970, 1980, 1985, 1996, 2002.

Figura 02: Uso da terra e produção total de grãos (café, arroz, feijão e milho), leite e rebanho bovino. Somatório dos municípios de Frei Inocência, Mathias Lobato, Tumiritinga, Galiléia, Conselheiro Pena e Governador Valadares, nos anos de 1970, 1980, 1985, 1996 e 2000.

No passado, as pastagens da região do Médio Rio Doce eram constituídas predominantemente de capim colonião (*Panicum maximum*, Jaq.), cuja capacidade suporte para bovinos era de 2,0 unidades adultas/ha. Na década de 1980 a capacidade suporte dessas áreas não ultrapassava a 0,8 unidades adultas/ha. Nas últimas décadas, as áreas de pastagens têm aumentado, mas a produção pecuária continua apresentando declínio acentuado. Este declínio se verifica para todos os produtos agropecuários da região (Fávero, 2001).

Conclusões semelhantes podem ser obtidas com os censos demográficos do IBGE para a região no mesmo período; verifica-se um acréscimo na população urbana, em detrimento da população rural. Ao mesmo tempo, ocorre um decréscimo na população dos municípios menores e um acréscimo na população dos municípios pólo como Governador Valadares. Como mostra a *Figura 03* a seguir, onde se relacionam as populações total, rural e urbana de seis municípios do Médio Rio Doce ao longo de quatro décadas (IBGE, 1971; 1982; 1991; 1992; 2000). Tal fato é reflexo de um conjunto de fatores, muitos deles relacionados à política social e econômica adotada pelo país no período. Mas um outro fator relevante que deve ser considerado neste contexto é a queda de produtividade do solo, atingindo níveis insuficientes para a manutenção daquele contingente populacional no campo. Essa queda de produtividade pode ser entendida como resultado dos processos de degradação ambiental na região. Nesse contexto, muitas das pequenas propriedades rurais foram incorporadas pelo latifúndio. Esse processo de mudança social e econômica é fato bastante conhecido e recorrente em qualquer estudo ou análise sociológica do Brasil neste período.



Fonte: IBGE, 1971, 1982, 1991, 1992, 2000.

Figura 03: Populações total, rural e urbana dos municípios de Frei Inocência, Mathias Lobato, Tumiritinga, Galiléia, Conselheiro Pena e Governador Valadares, nos anos de 1970, 1980, 1991 e 2000.

## 2.2. O PROCESSO DE DEGRADAÇÃO AMBIENTAL: ASPECTOS GERAIS

*A divisão que fazemos entre natureza e cultura desfaz a intimidade com a natureza, uma das formas mais ricas da experiência humana (Giddens, 2001).*

Independentemente da ausência de avaliações exatas a respeito da extensão de áreas degradadas no Brasil, todas as estimativas apontam para o desmatamento e para as atividades agrícolas como os principais fatores de degradação de nossos solos (Dias & Griffith, 1998).

Rochas Cristalinas Ácidas (Granitos, Gnaisses e Migmatitos) originam solos com altos teores de SiO<sub>2</sub>, relativamente ricos em K, apresentando toxidez de Al e B, deficientes em Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, P, Co, propensos a erosão em sulcos e ravinas comuns com formação de voçorocas onde ocorrem saprolitos profundos, expostos (áreas de Cambissolos) (Schaefer, et al. 2000).

Latosolos caulíníticos, embora mais coesos em condições de campo, apresentam baixa estabilidade de agregados. A massa de agregados se desfaz completamente, o que se reflete na maior susceptibilidade à erosão laminar (Ferreira, 1988, citado por Parzanese, 1991).

A presença de gibbsita em um solo predominantemente caulínítico atua como agente perturbador do arranjo face-a-face da caulinita, favorecendo a formação de estrutura granular. A gibbsita é particularmente efetiva quando os teores de argila são elevados e, quanto maior a perturbação, menores e mais

arredondados são os grânulos (Resende, 1982). Esse tipo de estrutura, se por um lado aumenta notavelmente a infiltração e permeabilidade, por outro lado diminui a coesão entre agregados, dando aos solos maior susceptibilidade à erosão em sulcos (Parzanese, 1991).

O uso do fogo é histórico nos ecossistemas agrícolas e florestais de todo o mundo, desde épocas remotas, com implicações sobre as propriedades dos solos. A dinâmica entre solo-planta-atmosfera envolve processos físicos, químicos e biológicos que, em condições normais, mantêm ciclagens que tendem reduzir as perdas e conservar em equilíbrio as relações no sistema (Araújo, 1993).

Dentre os vários processos de degradação ambiental a erosão é um dos mais ativos, sobretudo em regiões de clima tropical, e possui uma amplitude de ação que varia da mais sutil, como a laminar, muitas vezes despercebida, até a mais evidente e desastrosa, como a que envolve as voçorocas. A exploração irracional da terra, nos vários ciclos de colonização de Minas Gerais, expôs o solo, desencadeando, em particular, os processos erosivos de voçorocamento. A erosão laminar é particularmente problemática por seus efeitos diretos sobre a cobertura vegetal e pedoclima. Por sua vez, o processo de voçorocamento leva a danos ambientais de grandes proporções, cujas medidas de controle são extremamente onerosas; por isso é muito importante a identificação das áreas cujos solos sejam susceptíveis a esse tipo de erosão. Considerando os fatores que concorrem para a susceptibilidade dos solos ao voçorocamento, é possível, com observações de campo, deduzir parâmetros de fácil identificação, mesmo para os não peritos, que podem prevenir a instalação desse tipo de erosão (Parzanese, 1991).

Conquanto a deficiência de fertilidade de um solo possa ser fator complicador do estabelecimento da vegetação em alguns sítios, determinando seletividade na composição botânica, nunca o é no sentido de sua exclusão total (Baruqui, 1982).

O rejuvenescimento pedológico dos ecossistemas terrestres faz com que a cobertura vegetal não seja eliminada de nenhum lugar da superfície terrestre por deficiência de fertilidade, mas sim, facilmente, por deficiência de água (Resende e Santana, 1981, citados por Baruqui, 1982). Registra-se ainda, o agravamento de todas essas restrições pela pouca estabilidade das sementes

nesses sítios, as quais são carregadas pelas primeiras chuvas e pela baixa precipitação efetiva nesses locais (Baruqui, 1982).

### **2.2.1. O processo de degradação de pastagens**

Para Dantas (1980), pastagens são ecossistemas extremamente simplificados, floristicamente pobres, altamente instáveis e incapazes de se autosustentar, dependendo da interferência do homem para se manter; estes ecossistemas são, portanto, altamente propensos à degradação ou ao retorno às condições da vegetação anterior.

No trópico úmido brasileiro, após a derrubada e queima da floresta, o estabelecimento de forrageiras cultivadas, principalmente do gênero *Panicum* (1° ciclo), é favorecido pelos nutrientes depositados no solo através da incorporação das cinzas. Durante os primeiros 3 a 4 anos de exploração extensiva estas pastagens são capazes de suportar 2 novilhos com 300 kg/ha de PV. Porém, após este período ocorre um declínio gradual na produtividade, chegando a cerca de 100 kg/ha de PV após 7-10 anos do estabelecimento, acompanhado pela infestação por invasoras, resultando em avançados estágios de degradação. Estas pastagens, geralmente, são renovadas com espécies menos exigentes, principalmente *B. decumbens*, *B. brizantha* e *A. gayanus* (2° ciclo) (Serrão et al., 1993; Simão Neto & Dias Filho, 1995).

Tainton et al. (1996) propõem a teoria dos sistemas em equilíbrio, que ocorreriam em regiões onde as chuvas são relativamente constantes e previsíveis e onde a comunidade vegetal é formada total ou preferencialmente por espécies perenes. Neste caso, a variabilidade espacial e temporal da produção forrageira seria altamente controlada, ou determinada pelo manejo, caracterizando os ecossistemas de pastagens cultivadas da região dos trópicos.

O entendimento do processo de degradação para a predição de suas etapas e a utilização de indicadores são elementos importantes para evitar situações de quebra da sustentabilidade da produção. Alternativas de recuperação e renovação das pastagens degradadas de forma direta, com métodos mecânicos e químicos ou de forma indireta, com a utilização de culturas de grãos e pastos anuais, já estão disponíveis, mas devem ser

adequadas a cada sistema de produção para maximizar as inter-relações biológicas, econômicas e sociais (Macedo, 1999).

O conceito de “sustentabilidade da produção agrícola” é mais bem ajustado às condições de solos pouco intemperizados, solos de alta fertilidade natural onde há o que manter ou sustentar. Para os solos tropicais, altamente intemperizados, de baixa fertilidade natural e alta capacidade de fixação de fósforo (solos-drenos) há necessidade de intervenções com insumos externos, ou seja, estes solos necessitam de ajuda das “perturbações antropogênicas” pois suas condições originais não são satisfatórias à sustentabilidade (Novais & Smyth, 1999).

Estes ecossistemas podem chegar a um estado de equilíbrio por meio do manejo adequado empregado pelo homem (clímax antropogênico) (Middleton & Smith, 1978).

O processo de degradação de pastagens pode ser abordado sob dois enfoques distintos, mesmo que eles estejam estreitamente relacionados. Em um pode-se discorrer sobre as questões zootécnicas da degradação, em outro, o enfoque da degradação pode ser direcionado para o ponto de vista pedológico.

Do ponto de vista zootécnico são relacionados fatores de degradação como: uso de espécies não adaptadas à condição edafoclimática local; má formação inicial da pastagem (como consequência do uso incorreto de práticas tecnológicas); manejo animal incorreto (manejo animal na fase de formação, sistemas inapropriados de pastejo); excesso de lotação; métodos, épocas e excesso de roçagens; plantas invasoras, pragas e doenças.

A degradação de pastagens pode ser avaliada conforme a queda de sua capacidade suporte; perda de vigor; produtividade e queda na qualidade nutricional, o que repercute negativamente no ganho de peso do animal. O acompanhamento da capacidade de suporte permite a predição de etapas mais graves do processo de degradação do sistema, principalmente quando os recursos naturais já começam a deteriorar (Macedo, 1995).

Uma das características indicativas mais notadas no processo de degradação de pastagens é a capacidade de suporte animal ao longo do tempo. Quando a exploração pecuária é monitorada com certo grau de

organização e critério, é freqüente observar que num primeiro momento há diminuição da capacidade de suporte para a mesma oferta de forragem.

A observação na queda da capacidade de suporte, no entanto, não tem sido suficiente para conscientizar sobre a adoção de ações de manejo e manutenção, o que tem obrigado, posteriormente, a utilização de alternativas de recuperação ou renovação mais onerosas e de difícil realização do ponto de vista econômico.

Do ponto de vista pedológico, a ocorrência de plantas invasoras em pastagens degradadas tem alguns aspectos positivos, principalmente se o objetivo da recuperação da área prevê o retorno da vegetação nativa. A sucessão ecológica pode garantir a cobertura do solo (espaços vazios deixados pelas forrageiras), translocação e retenção de nutrientes no sistema. Este fato é particularmente importante quando o plano de recuperação objetivar, por exemplo, a implantação de sistemas agrossilvipastoris. Neste caso, algumas espécies nativas são extremamente desejáveis no sistema.

A maioria das plantas invasoras apresenta alta eficiência em translocar nutrientes durante a senescência das folhas (principalmente P e N) e em concentrar P na matéria seca. Essas espécies podem desempenhar um importante papel em seqüestrar o P do solo. Por esta razão, Dias Filho (1998) conclui pela possibilidade das invasoras contribuírem para a diminuição da disponibilidade desse elemento para as forrageiras. Mas, por outro lado, em função de determinadas tecnologias que podem ser empregadas na recuperação e manutenção das pastagens, esta é uma das características desejáveis encontradas em algumas espécies nativas.

Dentro deste contexto, os principais fatores de degradação de pastagens são: ausência ou uso incorreto de práticas de conservação do solo; preparo incorreto do solo; deficiências nutricionais do solo; manejo inadequado de correção e adubação do solo; pisoteio excessivo dos animais; uso do fogo como rotina; exposição do solo por longos períodos de tempo à ação das chuvas, ventos e altas temperaturas.

A degradação de pastagens pode ser definida como sendo o processo evolutivo de perda de vigor, de produtividade, capacidade suporte e de sua capacidade de recuperação natural. Em razão de manejos inadequados a que são submetidas, as pastagens geralmente não são capazes de sustentar os

níveis de produção e qualidade exigida pelos animais, assim como o de superar os efeitos nocivos de pragas, doenças e invasoras, culminando com a degradação avançada dos recursos naturais (Macedo, 1993; Macedo & Zimmer, 1993; Macedo, 1995).

Esta versão de degradação está baseada num processo contínuo de alterações da pastagem, que tem início com a queda do vigor e da produtividade. Na medida da utilização da pastagem avança-se no processo de degradação; até um determinado ponto, ou grau de degradação, onde haveria condições de se conter a queda de produção e manter a produtividade através de ações mais simples, diretas e com menores custos operacionais. A partir desse ponto, passar-se-ia para o processo propriamente dito de degradação, em que só as ações de recuperação ou de renovação, muitas vezes mais drásticas e dispendiosas apresentariam respostas adequadas. O final do processo culminaria com a ruptura dos recursos naturais, representado pela degradação do solo, com alterações em sua estrutura, evidenciadas pela compactação e a conseqüente diminuição das taxas de infiltração e capacidade de retenção da água, causando erosão e assoreamento das nascentes de lagos e rios (Macedo, 1999).

O processo de degradação de pastagens pode ser caracterizado, ainda, pela perda da capacidade da área em acumular biomassa (Dias Filho, 1998).

Estabelecer critérios para avaliar o grau de degradação em pastagens é tarefa bastante difícil, dadas as muitas variáveis que compõem o sistema, como a diversidade de espécies e suas características, bem como a variação dos ecossistemas em questão.

Porém, alguns estágios de degradação em pastagens podem ser identificados com certa facilidade por serem característicos da maioria das pastagens degradadas, a saber: mudança da composição botânica pelo aparecimento de espécies invasoras, presença de cupins, distúrbios fisiológicos da espécie dominante, aparecimento de sinais visíveis de erosão e, em estágios mais avançados, o desaparecimento quase total da espécie dominante, bem como das invasoras, levando a exposição do solo (falta de cobertura vegetal).

O caso mais grave de degradação de pastagens é aquele em que a área afetada apresenta o solo totalmente desprovido de vegetação e ausência de

banco de sementes que possa proporcionar uma rápida recuperação da área (Dias Filho, 1998).

Apesar de Carvalho (1993) afirmar que o processo de degradação de pastagens pode ser reversível quando medidas de controle são tomadas tão logo se identifiquem os primeiros sinais de degradação, na prática, a qualquer momento é possível realizar a recuperação, trata-se apenas de uma questão de tempo e de recursos disponíveis.

A degradação das pastagens tem sido uma constante nos ecossistemas de explorações extensivas, caracterizadas pelo uso extrativista e pelo emprego de baixo nível tecnológico. Nestes sistemas “tradicionais” de exploração pecuária, a produção de carne sofre uma redução de produtividade da ordem de 6% ao ano (Martins et al., 1996).

Somente na região dos Cerrados, que responde por 60% da produção de carne do país, cerca de 80% dos 45-50 milhões de hectares com pastagens cultivadas apresentam algum grau de degradação, com capacidade de suporte inferior a 0,8 UA/ha/ano (Barcellos, 1996). Nestas áreas, considerando-se somente a fase de engorda, a produtividade de carne está em torno de 2 arrobas/ha/ano, enquanto que em áreas de pastagens em bom estado, pode-se atingir, em média, 16 arrobas/ha/ano (Kichel et al., 1999).

Para compreender o contexto da degradação de pastagens no Médio Rio Doce, é necessário entender o processo histórico de uso e ocupação do solo, numa região onde a instabilidade do ecossistema talvez seja a característica mais marcante.

Os processos e causas da degradação ambiental e, conseqüentemente, das pastagens nessa região estão diretamente relacionados às condições de instabilidade da área associadas às ações antropogênicas. Dentre os principais fatores de degradação, são citados:

- a) Técnicas de manejo e recuperação incorretas;
- b) Uso do fogo como rotina;
- c) Exposição do solo por longos períodos de tempo a ação das chuvas, ventos e altas temperaturas (devido às queimadas e arações incorretas);
- d) Superpastejo;
- e) Pisoteio excessivo dos animais;

- f) Índice de animais por unidade de área acima da capacidade suporte;
- g) Deficiências nutricionais do solo em determinados sítios;
- h) Manejo de correção e/ou adubação ausente ou inadequado;
- i) Plantas invasoras, pragas e doenças.

### **2.2.2. Interpretação de níveis de degradação em pastagens: indicadores**

A degradação de uma área de pastagens pode ser identificada a partir de fatores como mudança da composição botânica da área; distúrbio fisiológico da espécie dominante; pressão biótica; desaparecimento da espécie dominante; ineficiência na ciclagem de nutrientes (P e N, principalmente); perda da capacidade de acumular biomassa; comprometimento das condições de estabilidade do solo (erosão) (Dias Filho, 1998; Nascimento Júnior et al., 1994; Dias Filho & Serrão, 1987; Stoddart et al., 1975).

Qualquer critério que seja proposto para avaliar o estágio de degradação, necessariamente, tem de considerar dois parâmetros: diminuição da produção e mudança na composição botânica. Uma terceira medida, quando a degradação se apresenta em grau mais avançado, é a estabilidade do solo (grau de erosão) (Nascimento Júnior et al., 1994).

Com base na produção de forragem no período de crescimento, em condições de manejo prático, podem ser caracterizadas quatro categorias de pastagens (Nascimento Júnior et al., 1994):

- (1) Excelente: quando apresenta 75 a 100% de rendimento;
- (2) Boa: quando apresenta 50 a 75% de rendimento;
- (3) Razoável: quando apresenta 25 a 50% de rendimento;
- (4) Pobre: quando apresenta menos que 25% de rendimento.

Estes critérios (quantitativos) são práticos e de fácil aplicação, podendo ser usados, também, em relação à composição botânica, em que se avalia o processo de retrogressão, ou seja, o desvio do clímax (Excelente) para estágios iniciais de sucessão (Pobre), como mostra o diagrama a seguir:

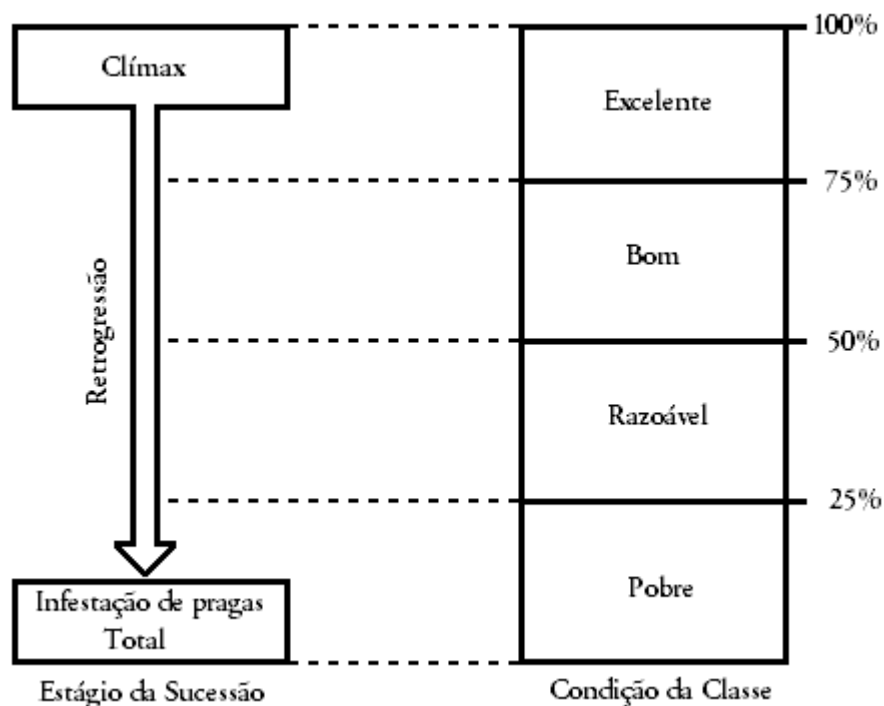


Diagrama: Critério de avaliação de pastagem em relação à composição botânica, em que se avalia o clímax (adaptado de STODART et al., 1975).

Assim, numa pastagem considerada “Boa”, apenas o ajuste na carga animal pode promover a sua regeneração, ao passo que roçadas e vedações podem ser recomendadas para pastagens “Razoáveis” e, em último caso, para pastagens “Pobres”, deve-se recorrer a métodos mais contundentes de recuperação ou renovação, como a reforma da pastagem acompanhada de correções e fertilizações.

Pode-se estabelecer uma escala de degradação que varia de 1 a 4, onde o menor grau seria o grau 1, se ocorrer somente a característica 1. Os demais graus seriam estabelecidos pelo somatório de características (1+2 = grau 2; 1 + 2 + 3 = grau 3; 1 + 2 + 3 + 4 = grau 4) (Barcellos, 1986, citado por Nascimento Júnior, et al. 1994). As características são:

- (1) Redução da produção de forragem, da qualidade, altura e volume, mesmo nas épocas favoráveis ao crescimento;
- (2) Diminuição da área vegetada e pequeno número de plantas provenientes da ressemeadura natural;
- (3) Aparecimento de espécies invasoras de folhas largas e início de processos erosivos pela ação das chuvas;

(3) Presença de plantas invasoras em grandes proporções, colonização da pastagem por gramíneas nativas e processos erosivos acelerados.

Tais critérios utilizados para avaliar cada estágio de degradação podem variar em função do clima e do solo dominantes na região em questão.

### **2.3. O SENSORIAMENTO REMOTO COMO FERRAMENTA DE ESTUDOS AMBIENTAIS**

Frente à necessidade de agilizar a obtenção e o processamento de informações e a produção de resultados relativos aos levantamentos de recursos naturais, em particular, tem-se recorrido aos recursos computacionais e softwares específicos que proporcionam resultados satisfatórios (Burrough, 1996). Dentre as técnicas eficientes disponíveis, destacam-se os Sistemas de Informações Geográficas - SIG. Um SIG é um ambiente capaz de integrar dados provenientes de diferentes fontes de informações (resultados de levantamentos de campo, dados orbitais e de GPS (“Global Positioning System”), dados cartográficos de referência, cadastros de informações sócio-econômicos), objetivando a tomada de uma decisão ou de uma série de decisões em diferentes níveis, permitindo desta forma as análises de dados geográficos pertinentes aos mais diversos contextos (Fernandes, 1997).

A disponibilização, em formato digital, de informações contidas em mapas e outros produtos como fotografias aéreas, imagens de satélite, cadastros, representações gráficas e tabelas possibilitam a manipulação e apresentação dos dados de forma simplificada e atrativa, além de representar uma sensível redução nos custos de processos de atualização e substituição de mapas e documentos em papel, gerados a partir de métodos convencionais, uma vez que os produtos gerados de um SIG podem ser atualizados, editados,

impressos e duplicados muito rápidos e facilmente do que aqueles gerados por métodos tradicionais que normalmente implicam num gasto de tempo e de trabalho manual cuidadoso para atingir o mesmo grau de precisão (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, 1981).

Através da utilização de ferramentas de geoprocessamento é possível extrair informações morfológicas relevantes, a partir de características do relevo, para a elaboração de mapeamentos pedológicos (Ramilo, 2002).

O delineamento manual das unidades de solo-paisagem é feito, tradicionalmente, através da análise estereoscópica de fotografias aéreas, com posterior constatação de campo. A análise digital do terreno introduz algumas vantagens em relação ao método tradicional para separação dessas unidades, por constituir-se em uma alternativa rápida e econômica, com a possibilidade de ser aplicada na quantificação e classificação do relevo, tornando possível a definição automática ou semi-automática das unidades morfológicas da paisagem (McBratney et al., 1991; Odeth et al., 1991; Gessler et al., 1996, citados por Ramilo, 2002).

O delineamento automatizado e posterior análise de bacias hidrográficas e suas respectivas redes de drenagem podem ser executados a partir de representações digitais do relevo denominadas Modelos Digitais de Elevação (MDE), utilizando-se, para tanto, as ferramentas disponíveis na maior parte dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) (Garbrecht & Martz, 1999, citados por Ramilo, 2002).

Os sistemas automatizados têm substituído, com vantagens, os métodos manuais tradicionalmente utilizados. Dentre as vantagens relacionadas encontram-se a economia de tempo na obtenção de resultados e facilidade de replicação dessas informações (Tribe, 1992; Ribeiro, 2002, citados por Ramilo, 2002). Além disso, exatidão dos resultados extraídos a partir de um MDE é comparável à obtida por métodos manuais (Garbrecht & Martz, 1999; Eash, 1994, citados por Ramilo, 2002).

Com a utilização de plataformas e sensores que apresentam melhor resolução espacial, como o IKONOS II, esses resultados podem ser obtidos de forma bastante detalhada (Ribeiro, 2004). O satélite IKONOS II, lançado em 24 de Setembro de 1999, operando desde o início de janeiro de 2000, pode gerar imagens com até 1 m de resolução espacial (ENGESAT, 2004).

Com 1 m de resolução, no modo pancromático (PAN) e PSM (combinação do pancromático com multiespectral), obtém-se uma fina resolução espacial, permitindo discriminar objetos de 1 m<sup>2</sup> de área ou maior. Existe a possibilidade de combinação de imagens adquiridas no modo pancromático, preto e branco (P&B), com 1 m de resolução, com imagens multiespectrais coloridas de 4 m de resolução, possibilitando a geração de imagens coloridas com 1m de resolução, combinando então as vantagens dos dois tipos de imagens. Como o satélite adquire sistematicamente as imagens no modo PAN e multiespectral (MS) para todas as áreas, esta fusão e o produto PSM podem ser gerados para todas as imagens adquiridas pelo IKONOS. As imagens podem ser adquiridas com profundidade radiométrica de 11 bits (2048 níveis de cinza) aumentando o poder de contraste e discriminação, inclusive nas áreas de sombra. Imagens de satélites em geral são adquiridas com 8 bits (1 byte) ou 256 níveis de cinza. As imagens geradas pelo IKONOS II possuem grande resolução espacial, permitem discriminar alvos de maneira fina, com a grande precisão cartográfica. Tal precisão cartográfica de localização é obtida através do processo de georeferenciamento das imagens. Para se conseguir resolução espacial, as bandas espectrais dos sensores no visível são largas dentro do espectro da luz, permitindo maior penetração na atmosfera e maior poder de discriminação dos alvos terrestres, principalmente da cobertura vegetal, áreas sombreadas e de corpos d'água. O IKONOS tem capacidade de efetuar visadas no sentido de sua órbita e perpendicularmente à sua órbita, aumentando a frequência de revisitas e possibilitando a aquisição de pares estereoscópicos, utilizados para trabalhos de restituição de altimetria (ENGESAT, 2004).

As aplicações destas imagens podem ser estendidas a: projetos de GIS (redes, telecomunicações, planejamento, meio ambiente); bases para elaboração de mapas urbanos básicos; elaboração/atualização de mapas de arruamentos e cadastro; mapeamento de cadastro urbano e rural; fontes de apoio para trabalhos com GPS; uso e ocupação do solo (maior detalhe da morfologia urbana); meio Ambiente (projetos ambientais); arquitetura, urbanismo e paisagismo; planos de recuperação ambiental e projetos de desenvolvimento; regularização legal de propriedades, demarcação de pequenas áreas; engenharia, empreendimentos em escalas da ordem 1:5.000

até 1:2.500; agricultura (com ênfase em previsão de safras, e controle de pragas); agricultura de precisão; engenharia florestal (estimativa de potencial econômico, projetos de desenvolvimento sustentável, censo de árvores); turismo (identificação de locais específicos, mapas pictóricos e localização de sítios turísticos; dentre outros (ENGESAT, 2004).

A utilização do sensoriamento remoto por ser uma tecnologia cujos dados podem ser obtidos a baixo custo, com repetitividade e numa escala compatível com a dimensão do problema, pode contribuir em muito para a solução dos problemas relacionados à recuperação de pastagens degradadas, principalmente no que se refere a aquisição de informações atualizadas e detalhadas a respeito da distribuição espacial das pastagens (Sano et al., 2000, citado por Chagas et al., 2003).

No contexto da avaliação ambiental, imagens de satélite são ferramentas valiosas pela economia de tempo, de recursos e, principalmente, pela acuidade das informações fornecidas. Podem ser muito eficientes para o monitoramento e avaliação de degradação em pastagens.

Segundo vários autores, citados por Chagas et al. (2003), as possibilidades de aplicação do sensoriamento remoto na área de recursos naturais são exemplificadas nos diversos trabalhos existentes sobre o assunto, principalmente, aqueles relacionados com o mapeamento de uso da terra e cobertura vegetal (Coutinho, 1997; Bignelli et al., 1998; Rodrigues, 1998; Numata, 1999) e erosão e degradação dos solos (Scopel, 1990; Fernandez, 1996; Valério Filho et al., 1997; Veneziani et al., 1998).

Imagens digitais TM/Landsat-5 foram utilizadas para identificar qualitativa e quantitativamente áreas degradadas na Ilha do Formoso, no Estado do Tocantins. A classificação das imagens pelo método supervisionado e o algoritmo da máxima verossimilhança permitiram classificar as principais feições da área; avaliar os vários níveis de degradação existente, sendo as mais afetadas as áreas localizadas nas margens dos rios; e identificar o estágio de regeneração de boa parte da área desmatada (Martins, 1999).

A tecnologia de sensoriamento remoto e um sistema de informações geográficas (SIG) foram utilizados como suporte na integração, manipulação e avaliação das informações extraídas de imagens TM/Landsat-5, visando a avaliação ambiental de áreas degradadas, em parte do litoral norte de

Pernambuco. O cruzamento das informações ambientais possibilitou a estratificação fisiográfica da área em três tipos principais: unidades de preservação, que correspondem às áreas que necessitam da manutenção de suas características nativas (como espécies vegetais); unidades de conservação, que correspondem às áreas nas quais ações planejadas pelo homem colaboram para a sustentação de recursos naturais renováveis e a manutenção de recursos naturais não renováveis; e as unidades de recuperação, que correspondem às áreas que necessitam de ações humanas para recuperar o meio ambiente, evitando a degradação total e visando o desenvolvimento sócio-econômico e o bem estar da população local (Silva & Mattos, 2000, citados por Chagas, C. S. et al. (2003).

O uso de técnicas de sensoriamento remoto na avaliação de áreas de pastagens, tanto do ponto de vista de produção de matéria seca, qualidade, tipo de pastagem ou espécies cultivadas, quanto de sua extensão, constitui um instrumento de múltiplas e amplas utilidades, permitindo estudos espaço-temporais eficientes e rápidos. No entanto, antes da utilização das imagens de satélites, são necessários estudos radiométricos de campo para identificar o comportamento espectral dos alvos estudados. O estudo da assinatura espectral pode permitir a diferenciação de espécies que apresentam arquiteturas e comportamentos fisiológicos diferenciados. A reflectância das espécies, em fases fenológicas distintas, pode ser usada como referência para a classificação destas nas imagens de satélites (Assad et al., 1991).

Souza & Araújo (2001) propõem o uso de sensoriamento remoto para o monitoramento de *Memora peregrina* (Miers) Sandw, planta invasora de pastagens, agressiva e de difícil controle, conhecida vulgarmente como “*ciganinha*”. Segundo estes autores, o uso do sensoriamento remoto constitui ferramenta potencialmente útil para se conhecer a abrangência espacial atual dessa planta invasora. A obtenção dessa informação pode ser facilitada pela amplitude espacial e temporal das imagens de satélite. Afirmam ainda que a análise de mistura espectral considera a contribuição proporcional de cada elemento da cobertura superficial na mistura espectral ocorrente em cada pixel da imagem. Este tipo de análise foi proposto para a classificação de dados de sensoriamento remoto visando caracterizar a ocorrência da ciganinha nas áreas de pastagens.

### **2.3.1. Análise e interpretação de imagens obtidas por sensores orbitais**

Imagens digitais de alvos da superfície terrestre, obtidas por sensores orbitais, são convertidas em produtos ditos “analógicos” ou podem permanecer na forma digital.

Os produtos ditos “analógicos” são trabalhados, geralmente, pelo processo de fotointerpretação (interpretação visual); já os produtos digitais são trabalhados por métodos e softwares específicos de análises digitais.

Vários fatores podem interferir na qualidade da análise de imagens de satélite, dentre eles destacam-se a época de obtenção das imagens; o tipo de produto; as bandas espectrais; a escala das imagens e a experiência do fotointérprete (Moreira, 2003).

A baixa resolução espectral de imagens de alta resolução espacial, como Ikonos II, permite o mapeamento de pequenos objetos na superfície terrestre, porém ocasiona alta variação espectral em algumas feições, o que dificulta a distinção entre classes espectrais pelos processos automáticos de classificação, o que interfere na precisão final dos resultados (Ribeiro, 2004), ou seja, em imagens de alta resolução espacial a variação espectral dentro de um único objeto pode ser tão grande quanto fora do objeto, o que dificulta a classificação automática da imagem por gerar um índice elevado de erros. Recomenda-se, portanto, a fotointerpretação (interpretação visual) para classificar essas imagens.

Pesquisas têm sido realizadas em todo o mundo com o objetivo de solucionar os problemas e as dificuldades encontradas na classificação automática das imagens de alta resolução. Tais estudos são necessárias para que a classificação automática e a utilização dessas imagens possam fornecer resultados mais precisos (Ribeiro, 2004).

Com o recurso de impressoras digitais (*plotters*) capazes de reproduzir fielmente diferentes cores ou tons de cinza, é possível imprimir os dados digitais em papel e, a partir da imagem impressa, realizar a fotointerpretação (interpretação visual) da imagem utilizando-se o procedimento padrão desta técnica e o uso de dados auxiliares (materiais colaterais) como clima, solo, geomorfologia, vegetação e outros (Moreira, 2003).

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. Localização e caracterização da área selecionada para estudo**

##### **3.1.1. Localização**

A área selecionada para estudo pertence à região fisiográfica do Médio Rio Doce e localiza-se entre os municípios de Governador Valadares (MG) e Tumiritinga (MG) (*Figuras 04 e 05*). O polígono da área é definido pelas coordenadas geográficas 18<sup>o</sup> 53' 24" Sul; 41<sup>o</sup> 49' 12" Oeste. 18<sup>o</sup> 55' 12" Sul; 41<sup>o</sup> 43' 12" Oeste. 18<sup>o</sup> 58' 48" Sul; 41<sup>o</sup> 43' 12" Oeste e 18<sup>o</sup> 55' 12" Sul; 41<sup>o</sup> 49' 12" Oeste, com 56,73 km<sup>2</sup> de área total, da qual foi obtida a imagem de satélite.

A maior parte da área em questão, 86 %, está localizada no município de Tumiritinga (MG) e os outros 14 % estão localizados no município de Governador Valadares (MG).

As características climáticas, hidrológicas, fitogeográficas, de uso e ocupação do solo e pedogeomorfológicas da área em questão são aquelas predominantes no Médio Rio Doce.

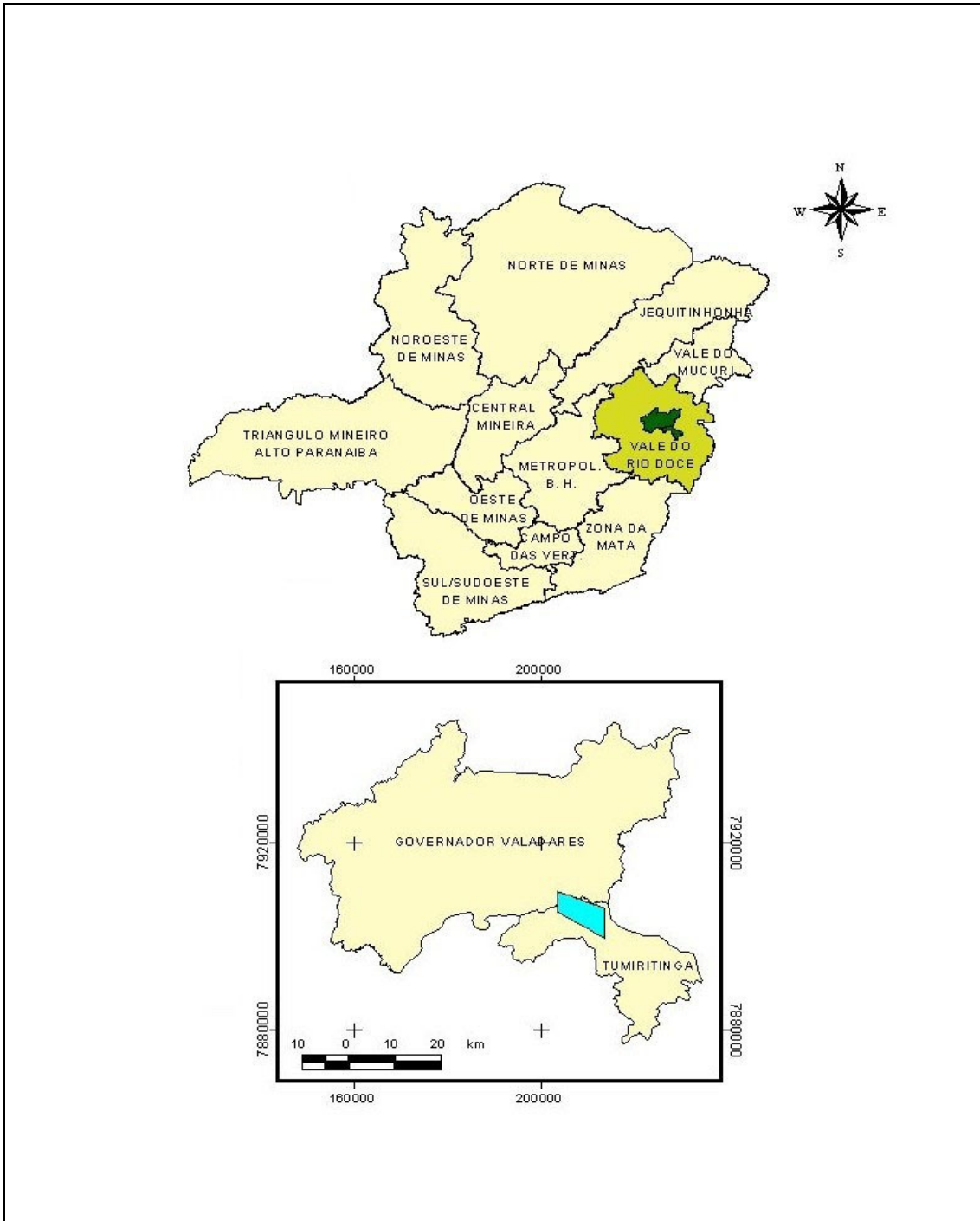


Figura 04: Localização do Vale do Rio Doce no Estado de Minas Gerais e da área de estudo entre os municípios de Governador Valadares e Tumiritinga.

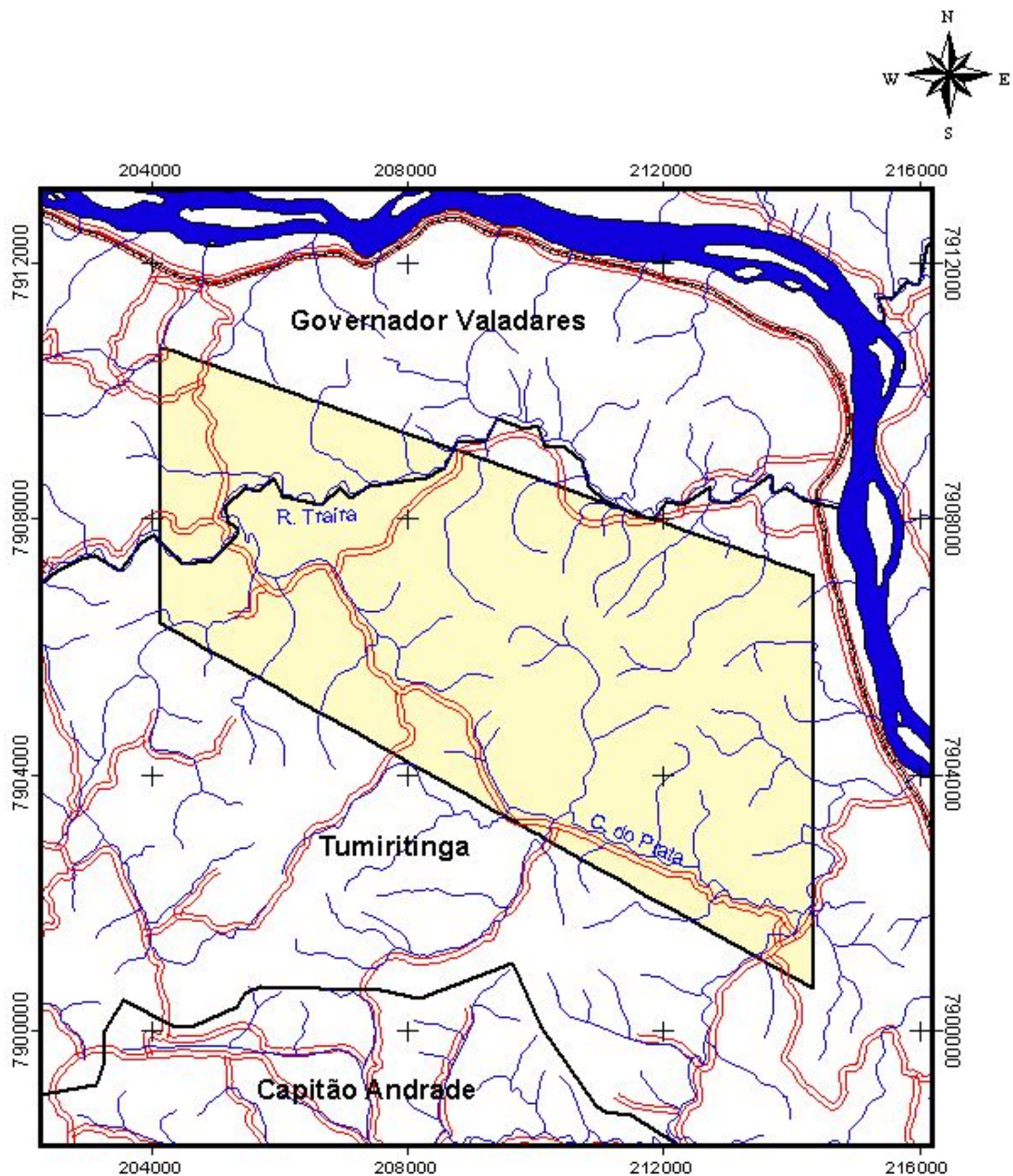


Figura 05: Detalhes da área de estudo entre os municípios de Governador Valadares e Tumiritinga.

### **3.1.2. Hidrografia e clima**

A área situa-se à margem direita do Rio Doce e é cortada por pequenos riachos e córregos afluentes desse rio, como o Córrego do Prata, Córrego Batatas e o Ribeirão Traíra que, na área, representa o principal curso d'água e corresponde ao limite geográfico entre os municípios de Governador Valadares e Tumiritinga.

O clima da área, segundo a classificação de Köppen é o Aw – tropical úmido-megatérmico – das savanas, em que a temperatura média do mês mais frio é superior a 18 °C, com estação seca no inverno e chuvas concentradas no verão, sendo a precipitação do mês mais seco inferior a 60 mm (Baruqui, 1982; Projeto RADAMBRASIL, 1987).

### **3.1.3. Constituição geológica**

A constituição geológica da área é composta em maior proporção pelo Complexo Cristalino com rochas datadas do Pré-Cambriano, constituídas por gnaisses diversos e migmatitos, com variado grau de metamorfismo e, em menor proporção por formações sedimentares recentes, datadas do Terciário e Quaternário. Os depósitos quaternários ocorrem ao longo dos vales e vias fluviais ( Brasil, 1970; Baruqui, 1982; Projeto RADAMBRASIL, 1987).

### **3.1.4. Constituição geomorfológica**

As unidades geomorfológicas predominantes são aquelas associadas à Depressão do Rio Doce, destacando-se na paisagem as elevações com relevo variando de ondulado a forte ondulado e as baixadas, presentes nos vales de fundo plano, constituídas pelos terraços fluviais, que podem ocorrer em vários níveis, com ou sem a presença dos leitos maiores. Registra-se ainda a presença de vales encaixados, em 'vê' e rampas de colúvio (Petri & Fúlfaro, 1983; Projeto RADAMBRASIL, 1987).

As cotas predominantes ocorrem na faixa de 150 a 200m em relação ao nível do mar, sendo poucas aquelas que ocorrem entre 350 a 450 m.

A constituição geomorfológica local e a distribuição dos solos na paisagem evocam uma condição pretérita de gênese do modelado, pressupõem uma pediplanação anterior, sob clima seco, que deu origem a uma extensa área de chapadas. O modelado presente denuncia uma remoção acentuada desses chapadões, que se deu por dissecação sob clima úmido subsequente. Destas áreas, restam apenas remanescentes fragmentados que correspondem às áreas de topo aplainado.

As linhas de drenagem dissecaram o planalto partindo da costa atlântica para o interior do continente. Isto justifica o manto de intemperismo tão mais profundo quanto mais afastado da costa, fato este que se reflete na gênese da topossequência típica do Vale do Rio Doce, que também se aplica ao Domínio Morfoclimático dos Mares de Morros.

Os solos mais profundos (Latosolos) ocupam as posições mais elevadas da paisagem e, geralmente, são solos oxídicos, com altos teores de alumínio trocável, baixo  $ki$  (relação molar  $SiO_2/Al_2O_3$ ), preponderantemente distróficos. As posições intermediárias da paisagem na região do Médio Rio Doce são ocupadas, geralmente, por Argissolos, com ocorrência freqüente de Argissolos Eutróficos. Esses ambientes correspondem à parte inferior do pediplano pretérito que, por remoção, perdeu a parte superior do manto. Em seguida, encontram-se os solos dos terraços e, por último, os solos mais jovens dessa topossequência típica, que são os solos do leito maior da rede de drenagem, com predomínio dos Neossolos Flúvicos e, entre estes, encontram-se os Gleissolos (Solos Hidromórficos) nos ambientes sob drenagem deficitária (Brasil, 1970; Petri & Fúlfaro, 1983; Projeto RADAMBRASIL, 1987; Bigarella et al., 1994; Rezende & Resende, 1996; Bigarella et al., 2003).

A gênese dos terraços fluviais, segundo o modelo proposto por Correa (1984), pressupõe sucessivas alterações climáticas, alternando períodos úmidos com períodos secos, e seus reflexos diretos nas etapas de dissecação (clima úmido) e aplainamento (clima seco). Como resultado, sob condições climáticas úmidas, ocorreu um rápido aprofundamento dos cursos d'água, dissecando o relevo original, colmatando os vales e formando os terraços atuais. Posteriormente, o aprofundamento de uma nova rede de drenagem entalhou os terraços, promovendo a gênese dos leitos maiores dos rios.

### 3.1.5. Solos

Em relação à distribuição dos solos, o Médio Rio Doce é caracterizado pela grande ocorrência de Argissolos Eutróficos, em muitos casos ocupando toda a elevação cujas cotas são inferiores àquelas ocupadas por Latossolos.

Os terraços apresentam solos mais jovens quando comparados com aqueles das elevações e, em geral, são igualmente pobres em fósforo (P). Dentro do contexto geomorfológico da Bacia Hidrográfica do Rio Doce, os terraços são as geoformas que podem oferecer um leque maior de possibilidades de uso e ocupação, principalmente por não possuírem impedimento à mecanização. Por outro lado, de acordo com Vitorino (1986), a pobreza em fósforo dos terraços fluviais, nessa região, converte-se num sério fator limitante à exploração agropecuária, caso não sejam feitas as devidas correções.

Outras classes de solos, com menor ocorrência na região estudada, como Cambissolos, Neossolos Litólicos e Gleissolos, em geral, são igualmente limitados em fertilidade.

A deficiência em nutrientes, de um modo geral, varia de ligeira para os Argissolos e Neossolos Flúvicos a muito forte para os Latossolos Distróficos. Os solos de terraços, quando distróficos, podem apresentar deficiência nutricional variando de moderada a forte.

Na área estuda, os solos predominantes são os Argissolos Vermelho-Amarelos, Cambissolos, Neossolos Flúvicos e Latossolos Vermelho-Amarelos. Os Latossolos ocorrem nas cabeceiras de drenagem, em relevos aplainados ou dissecados (Baruqui, 1982; Vitorino, 1986; Naime, 1988; Bigarella et al. 1994; Schaefer, et al. 2000).

Outras classes de solos, como os Neossolos Litólicos e Gleissolos, ocorrem de forma localizada na área e não apresentam, relativamente, a mesma expressividade de ocorrência que as classes anteriormente citadas.

### **3.1.6. Vegetação**

A área era originalmente coberta pela Floresta Atlântica, da qual não restou nenhum fragmento florestal de dimensões representativas. Das espécies nativas que compunham a vegetação original, ocorrem apenas exemplares esparsos nas pastagens ou em pequenos aglomerados nos fundos dos vales, encostas e margens dos rios e riachos.

### **3.1.7. Uso e ocupação do solo**

Historicamente, a área em questão foi ocupada preponderantemente com pastagens de capim colônia (*Panicum maximum* Jacq.), que atualmente ocorrem como pastagens naturalizadas e vêm sendo substituídas por outras gramíneas. Culturas de grãos como arroz, feijão e milho também são históricos na região, mas sempre ocuparam pequenas áreas, cultivadas em caráter de subsistência e pouco significativas economicamente.

Nessa parte do Vale do Rio Doce, a pecuária instalou-se de forma extensiva. Atualmente as principais gramíneas constituintes das pastagens são o capim colônia (*Panicum maximum* Jacq.), as do gênero *Brachiaria* e a grama batatais (*Paspalum notatum* Flüg.). Registra-se a ocorrência localizada de pequenas áreas de pastagens cultivadas com Tifton, gramínea do gênero *Cynodon*.

## **3.2. A imagem de satélite da área selecionada**

A imagem da área selecionada para estudo foi obtida pelo satélite IKONOS II em 18 de maio de 2003, com resolução espacial de 4m e bandas espectrais azul ( $\lambda = 0,45 - 0,52\mu\text{m}$ ), verde ( $\lambda = 0,52 - 0,60\mu\text{m}$ ), vermelho ( $\lambda = 0,63 - 0,69\mu\text{m}$ ) e infravermelho próximo ( $\lambda = 0,76 - 0,90\mu\text{m}$ ).

### **3.2.1. Análise da intensidade de degradação**

Para que fossem caracterizadas classes crescentes de degradação do solo e da cobertura vegetal, foram considerados fatores como a variação da

cobertura vegetal e a escala crescente de exposição do solo e dos processos erosivos. Considerou-se também a sucessão histórica de forrageiras na área.

Dentro deste contexto, foram selecionados indicadores de degradação da área e, a cada um deles, foi atribuído um valor entre 0 e 3, sendo o valor 0 para a melhor condição e o valor 3 para a pior condição (*Tabela 1*). Com base no somatório dos valores atribuídos aos indicadores da *Tabela 1*, foram obtidos os *Índices de Degradação* da *Tabela 2*.

Quando o indicador erosão foi considerado laminar leve (= 0) associado a geoformas de relevo plano, em cotas baixas como leito maior, leito menor, encostas suaves e terraços, o índice de degradação foi dividido por dois (2). Nestas áreas, em alguns casos, a incidência de plantas invasoras elevou o índice de degradação, mas na realidade, a área apresentava classe de degradação menor do que aquela indicada pela tabela. O fator de correção adotado foi suficiente para ajustar o método.

**TABELA 1 – Indicadores de degradação do solo e da cobertura vegetal**

Valor Atribuído	Cobertura do Solo	Vigor da Pastagem	Incid. de Plantas Inv.	Incidência de Cupins	Erosão
0	Ótima	Ótimo	Nula	Nula	Laminar leve
1	Boa	Bom	Baixa	Baixa	Laminar acent. / Sulcos
2	Regular	Regular	Média	Média	Sulcos / Ravinamento
3	Ruim	Ruim	Alta	Alta	Ravinamento / Voçorocas

**TABELA 2 – Classes de degradação do solo e da cobertura vegetal**

Classes de degradação	Características	Índices de Degradação
1 - Muito baixa ou leve	Solo coberto por vegetação de alto vigor, não apresentando sinais evidentes de degradação.	0 a 3
2 - Baixa ou moderada	Solo coberto por vegetação de baixo vigor, apresentando evidências de degradação.	4 a 7
3 - Alta ou forte	Solo coberto por vegetação de baixo vigor, apresentando áreas de solo exposto e erosão laminar.	8 a 11
4 - Muito alta ou muito forte	Classe 3 + erosão em sulcos e/ou ravinamento e/ou voçorocas.	12 a 15

Foram executadas duas viagens ao campo, uma nos dias 05, 06 e 07 de outubro de 2004 e outra nos dias 16 e 17 de dezembro de 2004, com os objetivos de reconhecimento *in loco* da área em questão e correlacionar os padrões espectrais da imagem com a atual condição desses ambientes. Para cada padrão, identificado na imagem, foram selecionados pontos georreferenciados para observações de campo e obtenção de fotografias; estas foram executadas com registro de sua orientação segundo os pontos cardeais e coordenadas geográficas, compondo uma fonte primária de dados para consultas posteriores. Todos os dados e observações de campo foram registrados em uma ficha especialmente elaborada para esse fim.

### **3.2.2. Processamento da imagem**

Para análise da imagem foram empregados dados históricos da área; mapas planialtimétricos; mapas de solos; mapas hidrográficos; mapas da rede viária; software de SIG ArcInfo e ArcView (ESRI, 1996); interpretação visual e observações de campo.

O processamento da imagem foi executado em quatro etapas: a primeira consistiu em uma composição da imagem com bandas espectrais na faixa do visível (vermelho, verde e azul - RGB), da qual foi obtida uma imagem impressa em papel, escala 1:15.000, projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), DATUM SAD 69. Esta imagem foi submetida a interpretação visual para identificação e separação de geoformas. As informações foram digitalizadas, editadas e georreferenciadas no software ArcInfo, cujos resultados foram processados no software ArcView para edição final do mapa de geoformas em escala 1:50.000.

Na segunda etapa, foi obtida uma composição da imagem com as bandas espectrais vermelho, verde e infravermelho próximo (RGI) com o objetivo de destacar a vegetação, obtendo-se imagem impressa em papel, escala 1:15.000, projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), DATUM SAD 69. Este produto foi fotointerpretado com o objetivo de identificar e separar classes de uso e cobertura do solo de acordo com a resposta espectral da vegetação. Estas informações foram digitalizadas, editadas e georreferenciadas usando-se o software ArcInfo e os resultados foram

processadas no software ArcView para edição final do mapa de cobertura vegetal em escala 1:50.000.

Com base nas composições RGB e RGI, bem como nos mapas de geoforma e cobertura vegetal, somados às informações contidas nas fichas de campo e consultas à fonte primária de dados (fotografias), foi executada a terceira etapa do trabalho que consistiu na análise dos dados e separação de ambientes em grupos categóricos de degradação, variando de 1 a 4, com base na escala de degradação identificada no campo. As informações foram digitalizadas, editadas e georreferenciadas utilizando-se o software ArcInfo, cujos resultados foram processadas no software ArcView, onde foram destacadas as diferentes classes de degradação presentes na área em estudo, o que resultou na edição final de um mapa de classes de degradação, em escala 1:50.000.

Finalmente, para a quarta e última etapa do processamento da imagem, em 12 e 13 de março de 2005, foram coletados pontos aleatórios no campo, identificadas as classes de degradação ali presentes, com o objetivo de verificar a exatidão do mapeamento, utilizando-se o índice Kappa.

O índice Kappa é um método estatístico utilizado na avaliação da concordância entre a condição real da área mapeada e os resultados encontrados no mapa temático, obtido a partir da interpretação da imagem de satélite (Moreira, 2003).

Para determinação do índice Kappa, são empregadas as seguintes equações:

$$K = \frac{P_0 - P_c}{1 - P_c}$$

M

$\sum n_{ii}$

$$P_0 = \frac{\sum_{i=1}^M n_{ii}}{N}$$

$$P_c = \frac{\sum_{i=1}^M n_{i+} n_{+i}}{N^2}$$

em que:

$P_0$  = exatidão geral;  $P_c$  = proporção de unidades que concordam por casualidade;  $M$  = número de classes presentes na matriz de erros;  $n_{ij}$  = número de observações na linha  $i$  e coluna  $j$ ;  $n_{i+}$  e  $n_{+i}$  = totais marginais da linha  $i$  e coluna  $j$ , respectivamente;  $N$  = número total de unidades amostrais completadas pela matriz.

A *Tabela 3* apresenta os valores do coeficiente Kappa utilizados para classificar os mapas temáticos e determinar o nível de aceitação dos resultados obtidos com a fotointerpretação de imagens de sensoriamento remoto.

**Tabela 3: Classificação do mapa temático, por sua exatidão, segundo o valor obtido pelo coeficiente Kappa.**

<b>Coeficiente Kappa (K)</b>	<b>Classe do Mapa Temático</b>
$\leq 0,2$	Ruim
$0,2 < K \leq 0,4$	Razoável
$0,4 < K \leq 0,6$	Boa
$0,6 < K < 0,8$	Muito Boa
$\geq 0,8$	Excelente

Fonte: adaptada de Lindis & Koch (1977), citados por Moreira (2003).

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1. A imagem de satélite**

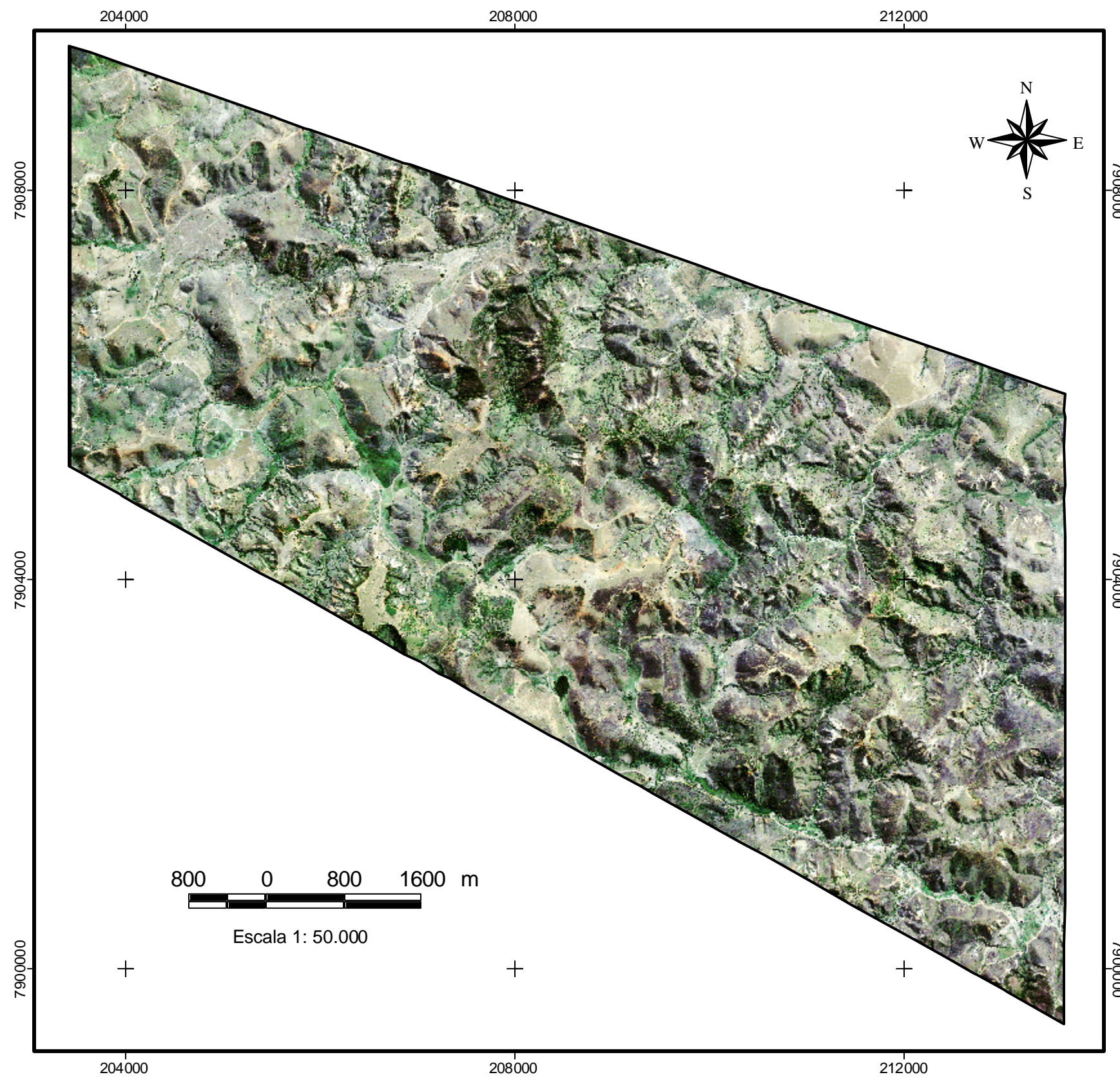
A data de obtenção da imagem (18 de maio de 2003) ocorreu no período de outono-inverno, estações na região marcadas pela estiagem. Neste período, a cobertura vegetal apresenta-se quase que totalmente seca, principalmente as espécies herbáceas e arbustivas.

Tal fato dificultou a distinção de classes espectrais na imagem com base apenas na cobertura vegetal. Verificou-se uma homogeneidade espectral comum a várias espécies, não sendo possível reconhecê-las, de forma individualizada, utilizando somente a fotointerpretação da imagem.

Esta limitação foi superada pela correlação entre as observações de campo e as classes espectrais presentes na imagem. Por outro lado, a imagem foi uma ferramenta útil e necessária na distinção dos ambientes em todas as fases do trabalho.

### **4.2. Separação de Geofomas**

Uma simples análise fotointerpretativa da imagem, editada em composição RGB (*Figura 06*), indica, através das feições geomorfológicas da área, que o processo erosivo de dissecação do modelado vem ocorrendo de forma intensa neste ambiente.



## Imagem IKONOS II composição RGB

Área Seleccionada - Gov. Valadares/Tumiritinga

Imagem IKONOS II - 18/05/2003 - Resolução 4m  
 Projeção Universal Transversa de Mercator  
 DATUM SAD 69 - Zona 24 S

Figura 06: Imagem IKONOS II, obtida em 18/05/2003, com resolução de 4m e composição RGB, na escala 1:50.000. Projeção UTM, DATUM SAD 69 - Zona 24 S.

A ação antropogênica acelera ainda mais os processos erosivos no sistema, agravando sobremaneira o problema, pois o processo de remoção do manto de intemperismo apresenta uma dinâmica naturalmente expressiva de ocorrência na região do Médio Rio Doce.

Como já se discutiu anteriormente, as geoformas locais mostram, no topo de algumas elevações, fragmentos remanescentes de áreas aplainadas sendo removidos sob uma dinâmica marcante, formando feições côncavas e ravinas anfiteátricas, conforme mostram as *Figura 07 e 08*.

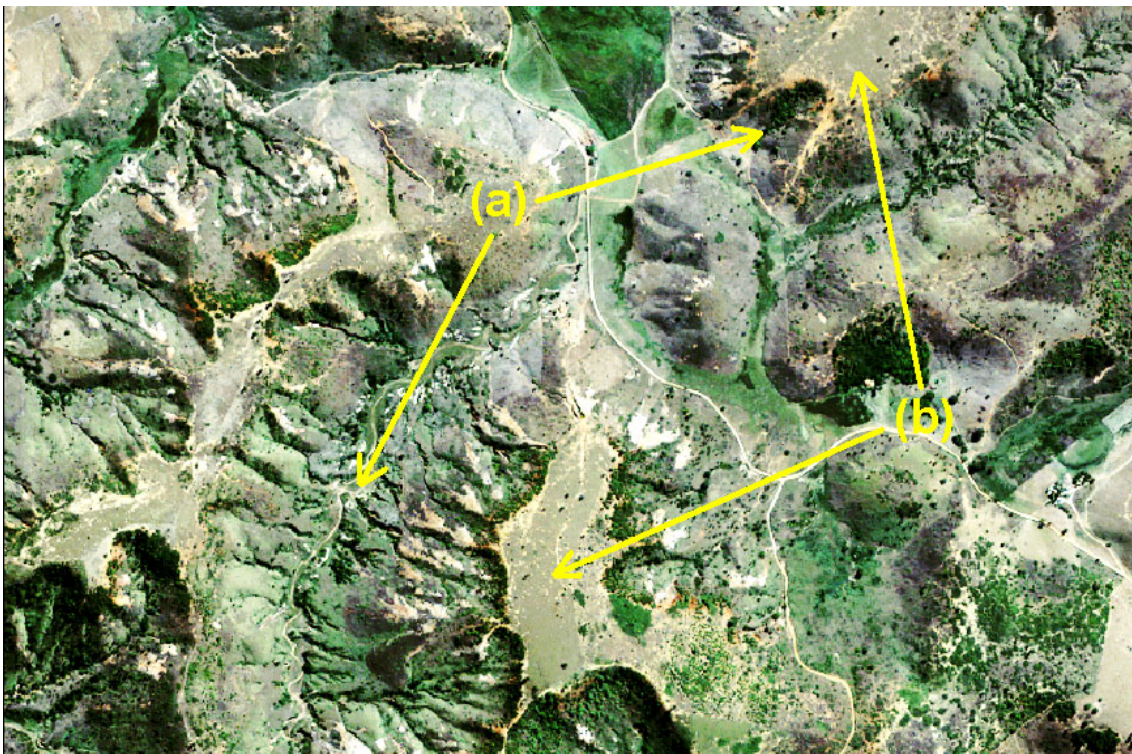


Figura 07: Imagem IKONOS II, obtida em 18/05/2003, resolução de 4m e composição RGB, indicando a formação de encostas com feições côncavas ravinadas (a) por remoção de áreas de topo aplainado (b).

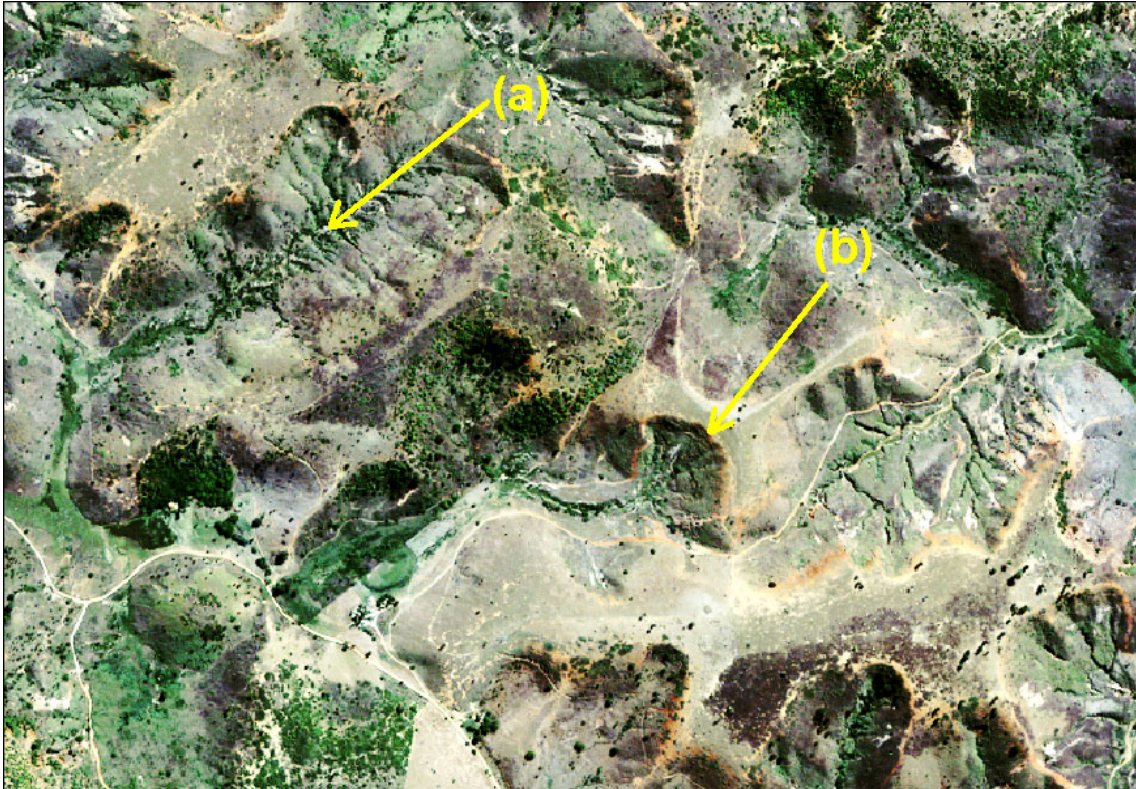
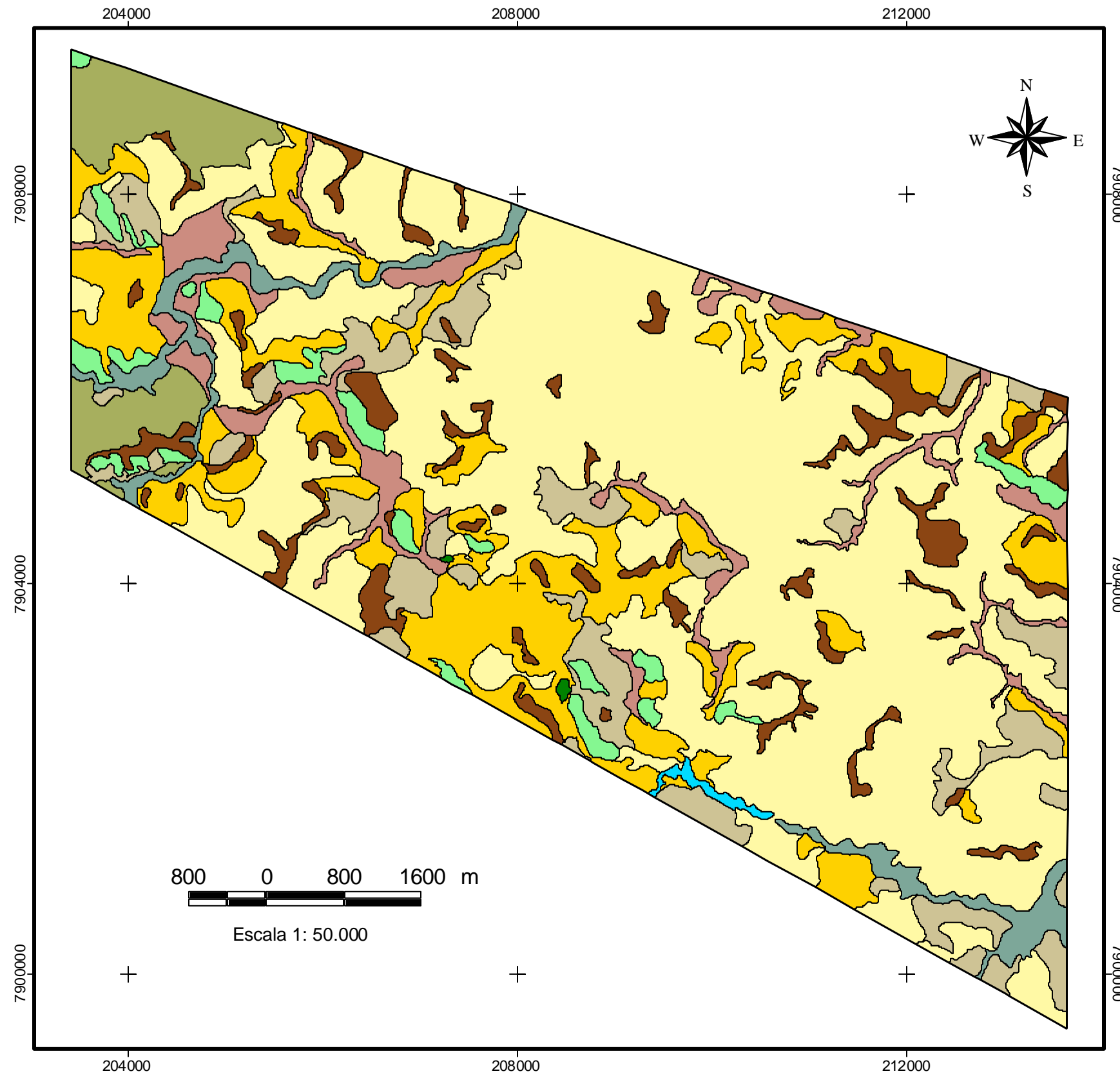


Figura 08: Imagem IKONOS II, obtida em 18/05/2003, resolução de 4m e composição RGB, indicando a presença de ravinas anfiatétricas desenvolvidas (a) e outras em processo inicial de formação (b).

O mapa de geformas (*Figura 09*), apresenta um ambiente com predomínio de topografia movimentada, presente em mais de 70% da área total. As encostas côncavas ravinadas, onde os processos de remoção do manto de intemperismo são naturalmente mais acentuados, aparecem em mais de 53% da área.

# Mapa de Geoformas

Área Seleccionada - Gov. Valadares/Tumiritinga



**LEGENDA**

Classes de Relevo	Área (%)
Topo Aplainado	6.09
Encosta em Plano Inclinado Suave	15.41
Encosta em Plano Íngreme	8.87
Encosta Côncava Ravinada	53.81
Encosta Convexa	2.66
Terraço	5.46
Área Mal Drenada	0.25
Leito Maior	3.12
Relevo Suave Ondulado Mamelonar	4.27
Lago Natural em Processo de Assoreamento	0.06

Interpretação visual de imagem Ikonos II, RGB  
 Projeção Universal Transversa de Mercator  
 DATUM SAD 69 - Zona 24 S

Figura 09: Mapa de geoformas editado a partir da composição RGB da imagem IKONOS II, obtida em 18/05/2003, com resolução de 4m. Projeção UTM, DATUM SAD 69 - Zona 24 S.

O grau mais avançado de degradação ambiental da área, onde predominam erosão em sulcos e voçorocas, é coincidente, de um modo geral, com as geoformas onde ocorre ravinamento ativo. Estes ambientes estão inseridos nas áreas de pastagens naturalizadas, onde empregam-se as queimadas como técnica de manejo. Porém, nestes locais específicos, as gramíneas quando presentes estão restritas a pequenos aglomerados esparsos, insuficientes para atrair os animais e propagar o fogo, além de serem áreas de difícil acesso para os animais. São ambientes que possuem um certo isolamento natural. Esta é uma das possíveis razões pelas quais estas áreas apresentam incidência alta a muito alta de espécies arbustivas e arbóreas, o que a longo prazo é uma situação favorável do ponto de vista da recuperação desses ambientes, indicando que a resiliência do sistema está atuando no sentido da recuperação natural desses sítios (*Figura 10*).

O estabelecimento de espécies espontâneas indica que o substrato remanescente não apresenta limitações muito severas. É uma situação que pode ser considerada como pousio natural dentro dos processos de recuperação de áreas degradadas (RAD).

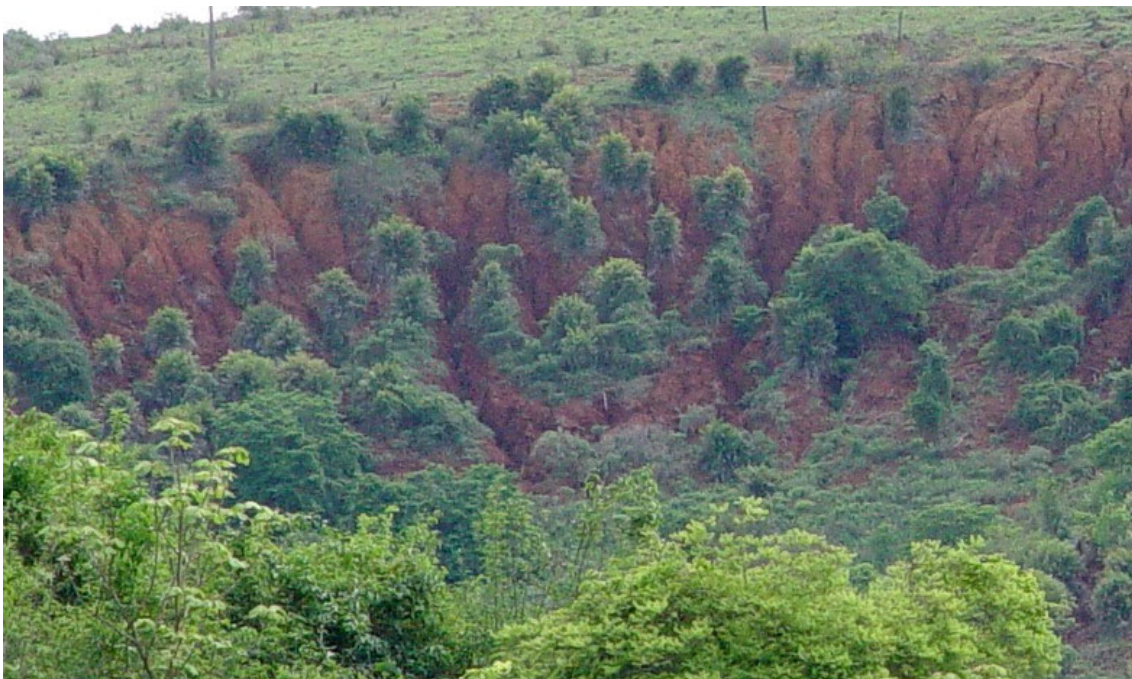


Figura 10: Bordo superior de uma ravina anfiteátrica ativa, apresentando alta incidência de espécies arbustivas e arbóreas.

### 4.3. Limitações e uso do solo

A região apresenta uma frequência expressiva de Argissolos Eutróficos mas a topografia da área é predominantemente ondulada a forte ondulada, impondo a estes e outros solos presentes em áreas declivosas maior susceptibilidade a erosão e limitações ao estabelecimento de atividades agropecuárias.

O quadro atual de degradação é fruto, principalmente, da substituição da vegetação original por pastagens que deram suporte a uma pecuária extensiva, cujas práticas de manejo comuns na região são potencialmente causadoras de degradação, tornando os sistemas de produção insustentáveis. Dentre elas, o uso do fogo como rotina, ausência de correções e fertilizações, pressão de pastejo acima da capacidade suporte e arações incorretas.

Com uma frequência cada vez maior, encontram-se geofomas típicas da região do Médio Rio Doce, onde predominam Argissolos Eutróficos que têm os seus horizontes superficiais A e B comprometidos por ação antrópica direta.

Este fato está diretamente relacionado ao manejo incorreto das pastagens e, principalmente, às arações em desacordo com as práticas adequadas de manejo e conservação de solos (*Figuras 11 e 12*). O solo desnudo fica exposto por longos períodos sob a ação direta da radiação solar, dos ventos e da chuva. A aração morro abaixo forma calhas por onde o solo desagregado é facilmente removido. Estas calhas, geralmente retilíneas e no sentido da maior declividade, são ravinas potenciais e muitas vezes precursoras do voçoramento.

Da mesma forma, observa-se o desrespeito com a legislação ambiental no que se refere à implantação e reforma de pastagens em áreas de preservação permanente, como os terços superiores das elevações, áreas de recarga e nascentes.



Figura 11: Aração no sentido do declive (morro abaixo), comum no Médio Rio Doce e desrespeito às áreas de preservação permanente, como o terço superior da elevação.



Figura 12: Aração no sentido do declive (morro abaixo), comum no Médio Rio Doce, em locais com incidência de erosão laminar (a), voçorocamento (b) e início de erosão em sulcos na área recentemente arada (c).

As limitações em fertilidade são agravadas pelo uso freqüente das queimadas, numa região onde predomina relevo acidentado, o que, sabidamente, conduz à deterioração das características físicas e químicas desses ambientes, por redução da matéria orgânica, remoção das cinzas (por

ação dos ventos e das chuvas), volatilização de nutrientes como nitrogênio (N) e enxofre (S) e quebra de agregados facilitando a remoção de argilas.

A prática das queimadas rotineiras em associação com a pressão de pastejo acima da capacidade suporte e ausência de aplicações de corretivos e fertilizantes explicam a sucessão de forrageiras mais exigentes, como o capim colômbio (*Panicum maximum* Jacq.), por menos exigentes como as do gênero *Brachiaria* e grama batatais (*Paspalum notatum* Flüg.).

É bastante comum encontrar áreas extremamente erodidas, apresentando nível de degradação muito alto, sendo utilizadas. Nestes locais pode ser observada a presença freqüente de animais (Figura 13).



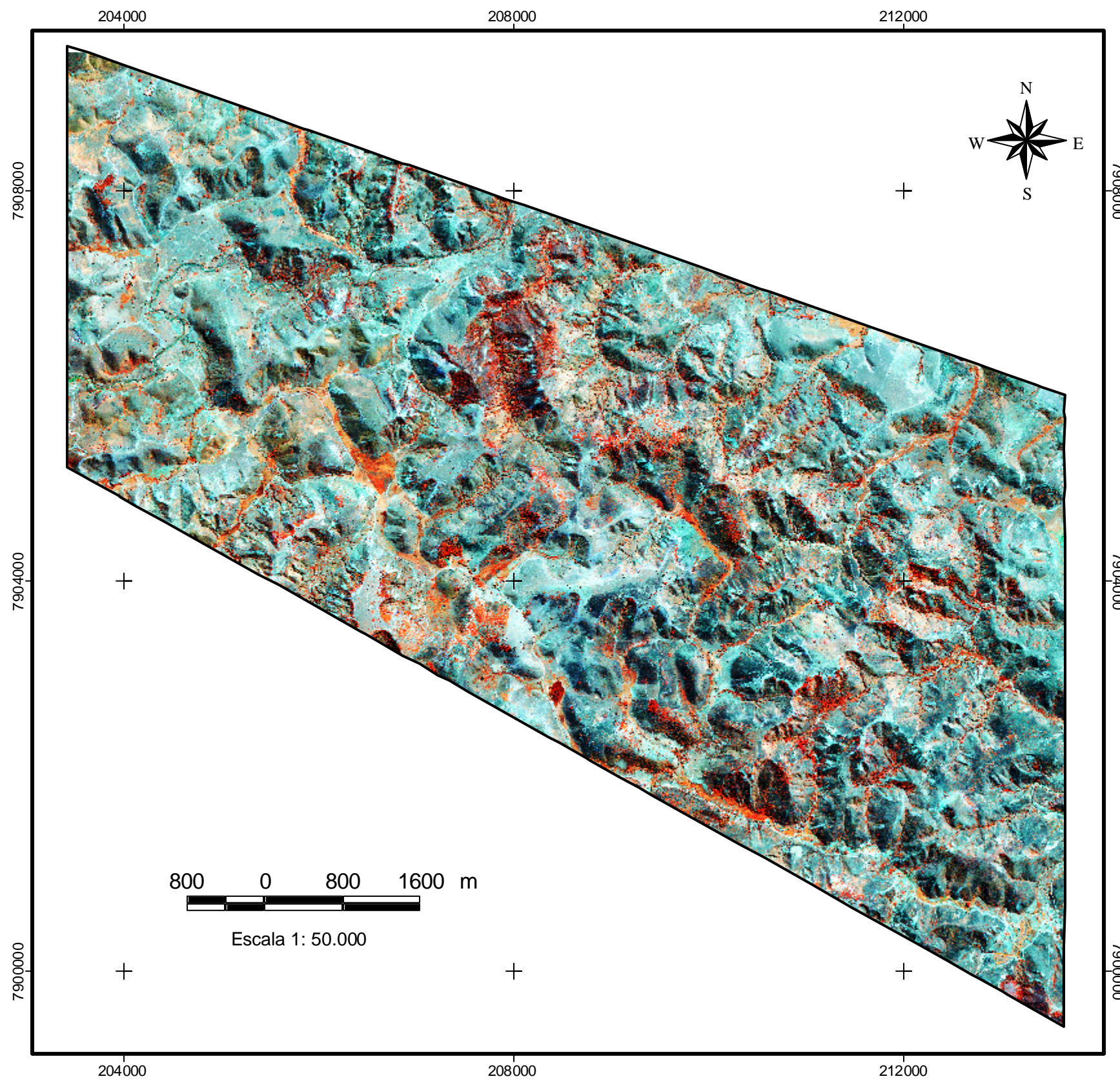
Figura 13: Pastagem degradada onde se observa a presença de animais. Tumiritinga (MG).

#### 4.4. Cobertura vegetal

A análise da imagem editada em composição RGI (Figuras 14 e 15) mostra, nas classes espectrais em tons de vermelho, as áreas onde ocorre a presença de espécies vegetais que se mantêm verdes no período outono-

inverno. Estes sítios estão associados, principalmente, às áreas onde ocorre ravinamento ativo, com presença marcante de espécies arbustivas e arbóreas onde as pastagens estão em processo de abandono. Também se mantêm verdes as áreas onde há uma maior disponibilidade de água, como áreas de baixadas, terraços, leitos maiores e lagos naturais assoreados.

Em áreas severamente atingidas por processos erosivos, a importância da vegetação, dentre outras, está na captação e transformação de energia, que manterá toda a cadeia trófica, gerando sítios ecológicos associados aos fatores ambientais. Em virtude dessas associações, a cobertura vegetal pode se expressar de diversas formas, sobretudo quando ocorrem mudanças significativas no ambiente. Portanto, ao se propagar de forma evolutiva, refletindo a ação integrada dos fatores ambientais, a vegetação atua como principal indicador da dinâmica desses fatores sobre perturbações no ambiente (Farias, 1992).



## Imagem IKONOS II composição RGI

Área Selecionada - Gov. Valadares/Tumiritinga

Imagem IKONOS II - 18/05/2003 - Resolução 4m  
 Projeção Universal Transversa de Mercator  
 DATUM SAD 69 - Zona 24 S

Figura 14: Imagem IKONOS II, composição RGI. Escala 1:50.000. Obtida em 18/05/2003 com resolução de 4m. Projeção UTM, DATUM SAD 69 - Zona 24 S.

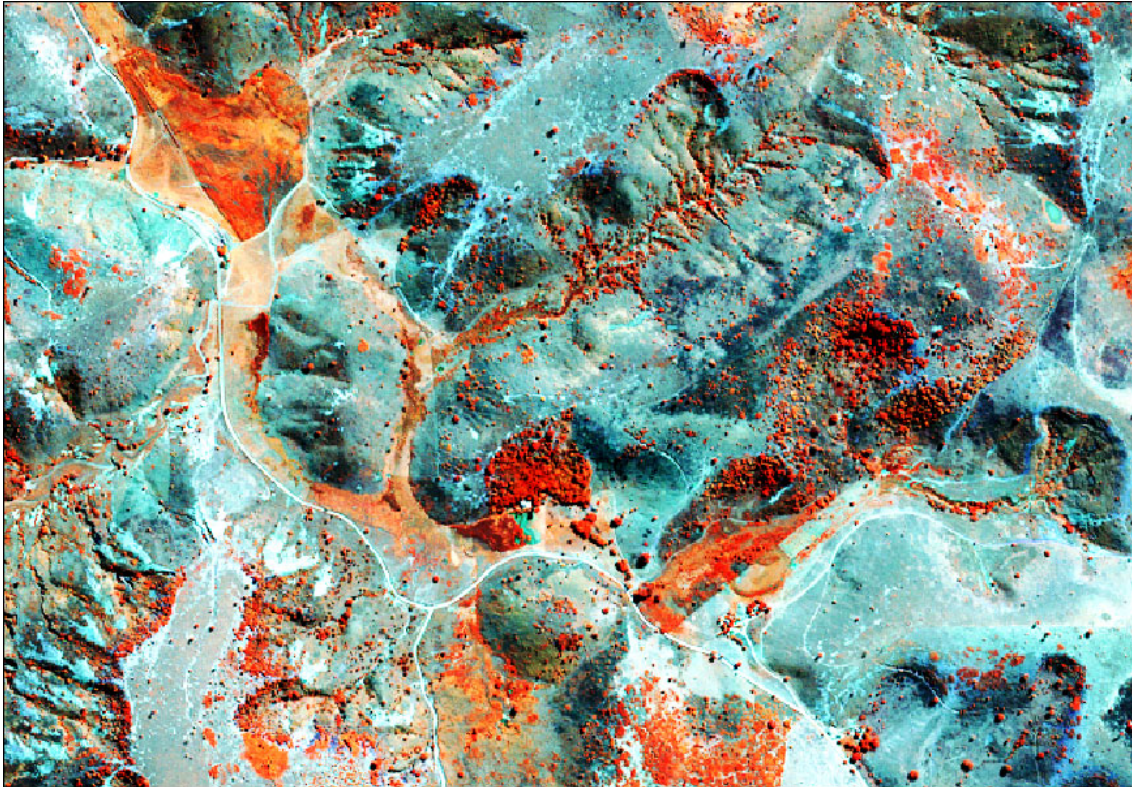


Figura 15: Imagem IKONOS II, obtida em 18/05/2003, com resolução 4m e composição RGI. Em destaque, as classes espectrais em tons de vermelho evidenciando a vegetação que se mantém verde durante o período outono-inverno.

O tom azulado na figura corresponde às áreas onde predomina vegetação composta por gramíneas, espécies de herbáceas e algumas arbustivas que se apresentavam secas no momento de obtenção da imagem. Ocorrem em todas as geoformas presentes no sistema, não sendo possível associá-las a um ou outro ambiente específico.

As feições espectrais em branco ou mosqueadas de branco correspondem às áreas de solo exposto ou parcialmente exposto, respectivamente. Ocorrem, preponderantemente, onde predominam as áreas declivosas, relevo côncavo ravinado e bordos das áreas de topo aplainado, mas sua presença foi registrada, de forma menos marcante, nas áreas de declividade suave e terraços. De forma pontual, elas ocorrem também nos leitos maiores.

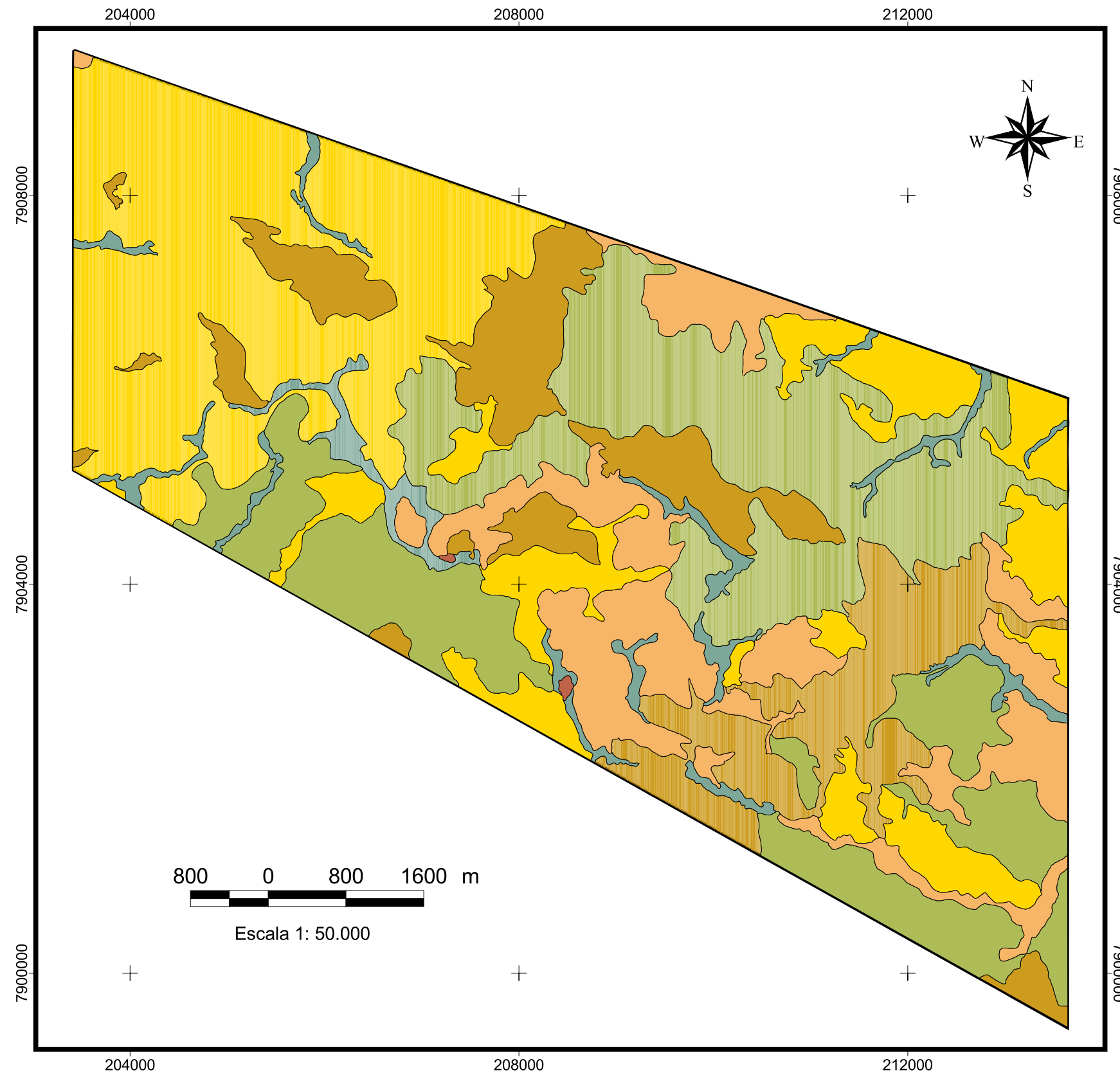
As áreas nuas ou parcialmente nuas, perfeitamente distinguíveis na imagem, podem ser quantificadas por métodos automáticos atualmente disponíveis. Por outro lado, neste tipo de imagem, tais quantificações não permitem separar as áreas desnudas por categorias como variações na

intensidade de erosão, que pode variar de laminar a voçorocamento, bem como áreas de empréstimo e estradas, dentre outras.

A interpretação visual da imagem, em conjunto com as observações de campo, permite separar as áreas desnudas por categorias, sendo que as áreas de mosqueado mais fino estão associadas, geralmente, a solos parcialmente expostos, apresentando erosão laminar. As áreas de mosqueado mais grosseiro e áreas claras mais extensas estão associadas a sítios de solo exposto, apresentando erosão em sulcos, ravinamento e voçorocas.

O mapa de cobertura vegetal (*Figura 16*) mostra que a incidência de plantas invasoras em níveis que variam de médio a muito alto ocorre em mais de 60% da área e estes sítios estão relacionados, geralmente, aos ambientes de geoformas côncavas ravinadas. Em grande parte são pastagens abandonadas e em processo avançado de degradação.







Verificou-se que as áreas identificadas com baixa incidência de invasoras, o que corresponde a 34% da área total, em geral estão associadas a pastagens mais homogêneas, o que não se traduz necessariamente em qualidade. As características do ambiente indicam que além do uso do fogo, a pressão de pastejo é alta nesses sítios, o que pode explicar, em parte, as razões da baixa qualidade das pastagens nessas áreas.



## Mapa de Cobertura Vegetal

Área Seleccionada - Gov. Valadares/Tumiritinga

### LEGENDA

Classes de Cobertura Vegetal	Área (%)
 Pastagem em processo de abandono, com incidência muito alta de espécies arbustivas e arbóreas .	17,51
 Pastagem com incidência alta de espécies arbustivas e arbóreas.	31,44
 Pastagem com incidência média de espécies arbustivas e arbóreas.	12,81
 Pastagem com baixa incidência de espécies arbustivas e arbóreas.	34,12
 Pastagem de áreas baixas, sujeitas a alagamento, onde predominam espécies de gramíneas, ciperáceas e outras comuns nesses ambientes.	4,06
 Área de lagos naturais, em processo de assoreamento, com predomínio de espécies do gênero <i>Typha</i> (taboa), <i>Cecropia</i> (embaúba) e outras comuns nesses ambientes.	0,06

Interpretação visual de imagem Ikonos II, RGI  
 Projeção Universal Transversa de Mercator  
 DATUM SAD 69 - Zona 24 S

Figura 16: Mapa de cobertura vegetal editado a partir da composição RGI da imagem IKONOS II, obtida em 18/05/2003, com resolução de 4m. Projeção UTM, DATUM SAD 69 - Zona 24 S.

Uma observação importante sobre a variabilidade na composição botânica de uma área, seja ela de pastagens ou não, refere-se ao processo de propagação das espécies vegetais ali presentes.

Esse processo é tecnicamente denominado *pressão de propagação de sementes*, e trata da quantidade relativa de sementes de uma espécie distinta que aporta numa determinada área (Baruqui, 1982).

Sendo o sistema naturalmente aberto, essa pressão de propagação é, portanto, dependente de condições internas e externas da área considerada, pois as sementes podem ser provenientes dos mais variados locais circundantes, e podem ser transportadas pelos mais diversos meios de dispersão.

A pressão de propagação é particularmente importante quando se objetiva a recuperação de uma área degradada, principalmente quando o plano de recuperação prevê e considera os processos naturais de dispersão dos propágulos das espécies vegetais ali presentes.

A análise da cobertura vegetal presente neste trabalho carece de uma avaliação complementar, que considere a composição florística e a estrutura fitossociológica da área, priorizando a composição botânica nativa, o que pode antecipar etapas nos planos de recuperação futuros.

#### **4.4.1. Origem e evolução das áreas desnudas**

Na região do Médio Rio Doce, uma convergência de fatores de instabilidade promove o desequilíbrio do sistema que naturalmente é dinâmico e pouco estável. Fatores estes representados por topografia movimentada, colonização agro-pastoril cujas práticas de uso e ocupação do solo são tecnicamente insustentáveis, bem como pelas condições climáticas locais (predomínio de altas temperaturas e chuvas concentradas no verão). Dentro deste contexto, o processo de degradação ambiental pode levar à perda da cobertura vegetal, promovendo a erosão laminar e esta, ao atingir o horizonte B do solo, leva, por sua vez, à erosão em sulcos que evolui para o voçorocamento.

Na década de 1980, Baruqui (1982) já denunciava a ocorrência freqüente de áreas desprovidas de vegetação, “pelados”, na região do Médio

Rio Doce. Naquela época, tais áreas localizavam-se no topo e terço superior das elevações e incidiam nas partes mais declivosas, coincidindo com material latossólico.

Se no passado essas áreas eram coincidentes com o topo e terço superior das elevações em ambientes declivosos e geralmente latossólicos, no presente elas podem ser encontradas em geofomas com declividade menos acentuada, evoluindo para erosão em sulcos e voçorocas e ocupando praticamente todas as classes de solos da topossequência (*Figura 17*) incluindo-se aí as áreas de terraço e leitos maiores.



Figura 17: Área desprovida de vegetação ocupando toda a topossequência.

A origem das áreas desnudas está associada a diversos fatores, uns relacionados às condições naturais como topografia, propriedades químicas e físicas do solo e clima; outros relacionados à ação antropogênica e, certamente, os principais.

A remoção do horizonte A expõe um horizonte B muito mais susceptível à compactação decorrente do pisoteio dos animais, incidência direta da radiação solar, impacto da chuva e movimentação de argilas.

A baixa disponibilidade de nutrientes, embora não seja fator determinante da ausência de vegetação (Resende, 1982), torna-se relevante

quando associada a outros fatores que promovem a seletividade na composição botânica de determinados sítios.

Em áreas tropicais, geralmente de solos pobres, o manejo incorreto do solo, dentro de um conjunto de fatores convergentes e negativos como o uso do fogo como rotina, pisoteio excessivo por animais e arações incorretas pode levar à supressão da cobertura vegetal, devido à pouca estabilidade de sementes nesses sítios, deficiência de água relacionada à baixa precipitação efetiva e carência nutricional.

Em particular, no caso das arações incorretas, dentre todos os prejuízos causados por essa prática, o carreamento do banco de sementes por remoção dos horizontes superficiais do solo pode ser o mais relevante na gênese das áreas desnudas. As associações entre os fatores naturais e antrópicos, em diversas combinações possíveis, constituem a causa primordial da origem dos ambientes desprovidos de vegetação.

Quando se relacionam os fatores de origem das áreas desnudas, compreende-se o processo sob o qual elas se instalam em determinados sítios, mas um outro fator igualmente importante dentro deste contexto é o entendimento do processo que as mantém sob uma dinâmica evolutiva, no sentido do aumento da superfície desprovida de vegetação. Este entendimento é primordial para que se busquem alternativas de mitigação do problema.

Considerando isoladamente cada um dos fatores de gênese das áreas desnudas, dentro do contexto pedogeomorfológico e climático do Médio Rio Doce, é possível chegar a algumas conclusões sobre os processos que mantêm a dinâmica de aumento da superfície das áreas desprovidas de vegetação neste ambiente.

A deficiência em fertilidade é fator importante na seletividade da composição botânica de uma determinada área, mas não determina a ausência de vegetação nesses sítios e em nenhum outro (Resende, 1982).

Dentre todos os fatores relacionados que promovem as limitações ao desenvolvimento da cobertura vegetal, a deficiência hídrica é, certamente, o mais limitante e, sob condições extremas, pode determinar a ausência total da vegetação. Mas este não é o caso da região do Médio Rio Doce. Neste ambiente, de clima tropical, as chuvas são concentradas no verão, mas a precipitação média anual da área varia entre 900 a 1.000 mm e o déficit hídrico

médio anual situa-se em torno de 192 mm, o que não é, evidentemente, condição que justifique a eliminação da cobertura vegetal nesses sítios, mesmo considerando a baixa precipitação efetiva nas áreas desnudas.

Estas áreas desprovidas de vegetação, ainda que ocupando, em alguns casos, extensões relativamente grandes, ocorrem ao lado de áreas vegetadas e, geralmente, ambas estão localizadas em sítios sob condições idênticas quanto ao clima e, praticamente idênticas, quanto à pedogeomorfologia.

Quando se analisa, também de forma isolada, cada um dos fatores antropogênicos descritos anteriormente, como pressão de pastejo (uso do solo), queimadas, arações incorretas, remoção dos horizontes superficiais e remoção do banco de sementes, pode-se entender que, por mais prejudicial e drástico que cada um possa ser, a pressão de pastejo (uso do solo), é o fator que mais se impõe sob a forma continuada, ou seja, as forrageiras que se desenvolvem no entorno das áreas desnudas são pastejadas continuamente.

Como já foi visto anteriormente, estas áreas não são isoladas do restante das pastagens e recebem visitas constantes dos animais. As áreas desnudas mais extensas, de acesso mais difícil, principalmente aquelas onde ocorre ravinamento ativo e sem a presença de gramíneas que sirvam como atrativo aos animais ou propaguem o fogo, oferecem condições para a instalação de espécies arbustivas e arbóreas mais agressivas e, neste caso, evoluem para aquelas áreas identificadas anteriormente como apresentando incidência alta a muito alta de invasoras e em processo de abandono.

Desse modo, não se dispendo de recursos financeiros e técnicos para subsidiar as intervenções necessárias à mitigação do processo de degradação nesses ambientes, há que se promover o isolamento dessas áreas, o que seria uma forma minimamente aceitável de convivência com o problema.

O fator tempo, da mesma forma que contribui para o estabelecimento dos processos erosivos e voçorocamento, conduz ainda ao reequilíbrio dinâmico do sistema, em que o reestabelecimento da cobertura vegetal tem função preponderante (Farias, 1992).

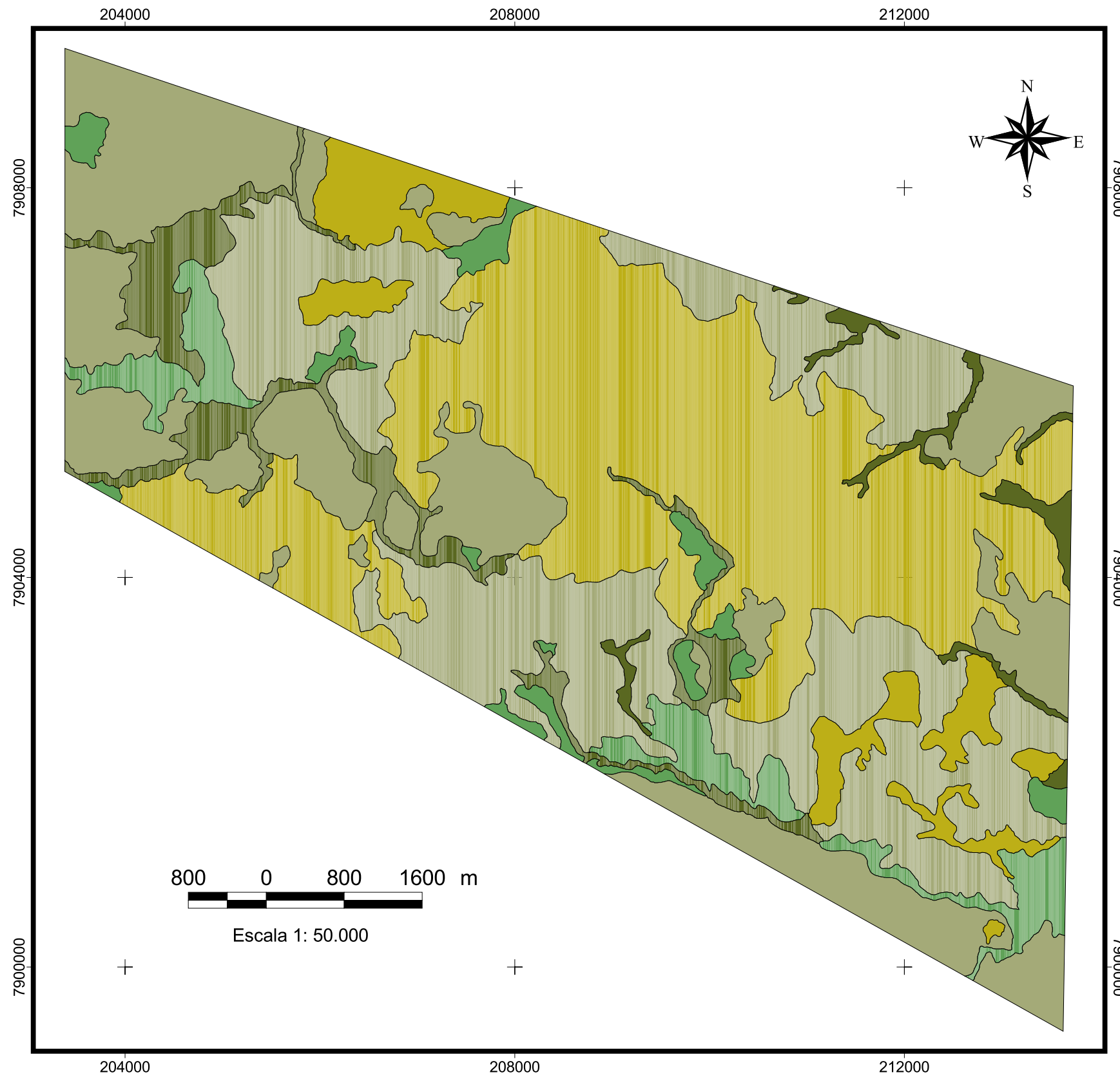
#### 4.5. Geoambientes e degradação

Na região do Médio Rio Doce, as condições climáticas locais e o relevo acidentado são fatores primordiais quando se considera a vulnerabilidade do sistema à degradação física e química. A cobertura vegetal desempenha papel preponderante no equilíbrio dinâmico dos solos. Nesse ambiente, elementos como cálcio (Ca) e fósforo (P) são dependentes da ciclagem biogeoquímica. Assim, a retirada da cobertura vegetal pode levar o sistema ao desequilíbrio de forma muito rápida.

A ocorrência atual de pastagens constituídas de gramíneas sabidamente mais resistentes e de menor exigência nutricional como as do gênero *Brachiaria* ou a grama batatais (*Paspalum notatum* Flug.), sobre Argissolos onde outrora floresciam pastagens de capim colônia (*Panicum maximum*, Jaq.) é, por si só, um fato que denuncia a queda acentuada da fertilidade desses solos.

A degradação ambiental nessa área é, portanto, fruto da combinação entre a geologia local, a gênese do solo, o clima, e, principalmente, da forma predominantemente insustentável de uso e ocupação do solo naquele ambiente. A convergência desses fatores, de maneira continuada, reflete-se diretamente no agravamento progressivo dos problemas sociais e econômicos que se verificam naquela região.

A partir das informações de campo, do processamento e análise da imagem, bem como da edição e interpretação dos mapas de geoformas e cobertura vegetal, obteve-se o mapa de geoambientes degradados (*Figura 18*), cuja análise, interpretação e processamento permitiram identificar e quantificar as classes de degradação (cd) presentes na área estudada.



# Geoambientes e Degradação

Área Seleccionada - Gov. Valadares/Tumiritinga

## LEGENDA

### Classes de Degradação

- Solo coberto por vegetação de alto vigor, não apresentando sinais evidentes de degradação.
- Solo coberto por vegetação de baixo vigor, apresentando evidências de degradação .
- Solo coberto por vegetação de baixo vigor, apresentando áreas de solo exposto e erosão laminar.
- Solo coberto por vegetação de baixo vigor, apresentando áreas de solo exposto e erosão laminar, erosão em sulcos e/ou ravinamento e/ou voçorocas.

Interpretação visual de imagem Ikonos II, RGI  
 Projeção Universal Transversa de Mercator  
 DATUM SAD 69 - Zona 24 S

Figura 18: Mapa apresentando as diferentes classes de degradação do solo e da cobertura vegetal. Editado a partir da imagem IKONOS II, obtida em 18/05/2003, com resolução de 4m.

As classes de degradação foram identificadas e quantificadas em quatro categorias, conforme exposto na *Tabela 4* e exemplificadas nas *Figuras 19, 20, 21 e 22*.

**TABELA 4 – Classes de degradação do solo e da cobertura vegetal e seus respectivos percentuais de ocorrência na área estudada**

<b>Classes de degradação (cd)</b>	<b>%</b>
1 - Muito baixa ou leve	7,5
2 - Baixa ou moderada	7,2
3 - Alta ou forte	47,5
4 - Muito alta ou muito forte	37,8



Figura 19: Em 1° plano, área identificada com classe de degradação 1 - muito baixa ou leve.



Figura 20: Área identificada com classe de degradação 2 – baixa ou moderada.



Figura 21: Área identificada com classe de degradação 3 – alta ou forte.



Figura 22: Área identificada com classe de degradação 4 – muito alta ou muito forte.

De acordo com o estimador do índice Kappa, a classificação alcançou um nível de exatidão considerado excelente ( $K = 0,89$ ). O erro de omissão (confundimento) ocorreu em alguns pontos onde a classe de degradação 4 (Muito Alta) foi identificada como classe 3 (Alta), gerando o erro, conforme mostra o *Quadro 1: Matriz de erros*.

#### Quadro 1: Matriz de erros

CLASSES Amostra \ Mapa	C1	C2	C3	C4	Total	Incorretas
C1	12				12	0
C2		9			9	0
C3			12		12	0
C4			5	8	13	5
<b>Total</b>	12	9	17	8	<b>46</b>	<b>5</b>
<b>Corretas</b>	12	9	12	8	<b>41</b>	–

A classe de degradação 1, com 7,5% de ocorrência, é restrita às áreas de relevo plano, como leitos maiores e menores dos cursos d'água e terraços. Áreas geralmente férteis e cobertas por pastagens bem conservadas.

A classe de degradação 2, com 7,2%, foi observada tanto em locais de relevo plano (29,6%) quanto em áreas de topografia mais acentuada, como relevo suave ondulado (24,4%) e encostas (46,0%). São áreas cobertas por pastagens menos vigorosas do que aquelas encontradas na classe de degradação 1; apresentam evidências de degradação e composição botânica na qual predominam gramíneas forrageiras com alguma incidência de espécies invasoras herbáceas e arbustivas.

A classe de degradação 3, com 47,2%, ocorre em todas as geoformas observadas: relevo plano (12,2%); relevo suave ondulado (27,8%) e encostas (60,0%). Geralmente, são áreas de pastagens que apresentam solo parcialmente exposto e erosão laminar acentuada, bem como gramíneas forrageiras de baixo vigor e incidência variada de plantas invasoras herbáceas, arbustivas e arbóreas.

A classe de degradação 4, com 37,8%, teve sua ocorrência registrada, principalmente, em áreas de topografia movimentada, tendo as encostas ravinadas côncavas e convexas como geoformas predominantes (84,0%) mas, em menor grau, sua presença foi observada em áreas de topo aplainado (7,3%), relevo suave-ondulado (6,5%) e áreas baixas (2,2%). São áreas destinadas a pastagens, mas apresentam gramíneas forrageiras de baixo vigor e, freqüentemente, ausência destas. Em muitos casos são pastagens em processo de abandono, com incidência alta de plantas invasoras arbustivas e arbóreas. Apresentam áreas desprovidas de vegetação relativamente extensas e processo erosivo que varia de laminar severo a sulcos e voçorocas.

As áreas de relevo plano, identificadas com a classe de degradação 1, são passíveis de serem reavaliadas levando-se em conta a influência do entorno e o impacto ambiental causado pelo acúmulo de sedimentos oriundos das áreas erodidas circundantes. É razoável considerar que eventos desta natureza, ocorrendo em processos sucessivos e contínuos em uma mesma área, são fatores importantes de distúrbios e desequilíbrios, mesmo que, sob determinadas condições, possam ser considerados como impactos positivos no sistema.

Os critérios utilizados para classificar os ambientes em uma escala crescente de degradação, consideram que áreas de geoformas planas, com cobertura vegetal vigorosa, que não apresentam sinais evidentes de erosão,

são aquelas que ocupam a mais baixa classe de degradação dentre as prepostas. Mas, para avaliar ambientes semelhantes àquele identificado com a classe de degradação 1 neste trabalho, é pertinente considerar a necessidade de uma abordagem mais detalhada para avaliá-los, complementando a avaliação que os identificou como classe de degradação *muito baixa* ou *leve*. Tal abordagem se justifica em função de que o movimento cumulativo de sedimentos é um tipo de impacto ambiental que geralmente ocorre com uma frequência maior do que a capacidade que o sistema tem de absorvê-los e oferece implicações químicas, físicas e biológicas para o sistema coletor.

Do ponto de vista químico, o aporte de sedimentos pode significar três situações distintas: 1 – Enriquecimento: se o sistema a montante for mais rico em elementos que o ambiente coletor. 2 – Indiferença: Se os dois sistemas forem quimicamente semelhantes, sem diferenças significativas entre eles. 3 – Empobrecimento: Se o sistema a montante for quimicamente mais pobre que o ambiente coletor. Nesta abordagem, há que se considerar também situações diferenciadas, como fertilidade do solo, presença de metais pesados e outras.

Quanto às implicações físicas, o aporte de sedimentos leva a impactos ambientais como soterramento da cobertura vegetal; elevação do nível da superfície, aumentando a distância desta em relação ao lençol freático e assoreamento de aquíferos, dentre outros.

Do ponto de vista biológico, há impactos diretos e indiretos na biota local, causando distúrbios nos ciclos naturais relacionados aos ecossistemas locais, ou até mesmo, em algum momento, a quebra desses ciclos pela suspensão da fauna e flora.

Desse modo, a classe de degradação identificada com o nível de degradação 1 pode ser subdividida em categorias distintas. Essa observação conduz a duas vertentes: se o sistema é coletor ou não. Se o sistema não for coletor, a classificação dada aos ambientes com nível de degradação 1 é suficiente para identifica-los pelo critério aqui estabelecido. Caso o ambiente seja coletor, podem ocorrer diversas combinações possíveis entre os impactos ambientais a ele relacionados.

Portanto, para se chegar à conclusões complementares e mais específicas a respeito da real condição dos ambientes identificados com a

classe de degradação 1, é necessário um processo de investigação subsequente e diferenciado daquele estabelecido para este trabalho.

É regra geral na região, a presença de áreas de baixada com acúmulo de sedimentos na base das encostas e nos corpos d'água. São freqüentes os córregos e lagos naturais em processo avançado de assoreamento. Os lagos apresentam-se cobertos por uma vegetação típica de ambientes lacustres assoreados, onde são encontradas, dentre outras, gramíneas, ciperáceas e espécies dos gêneros *Typha* (taboa) e *Cecropia* (embaúba). Figuras 23 e 24).



Figura 23: Presença de sedimentos na foz do Córrego Batatas, afluente do Córrego do Prata. Tumiritinga (MG).

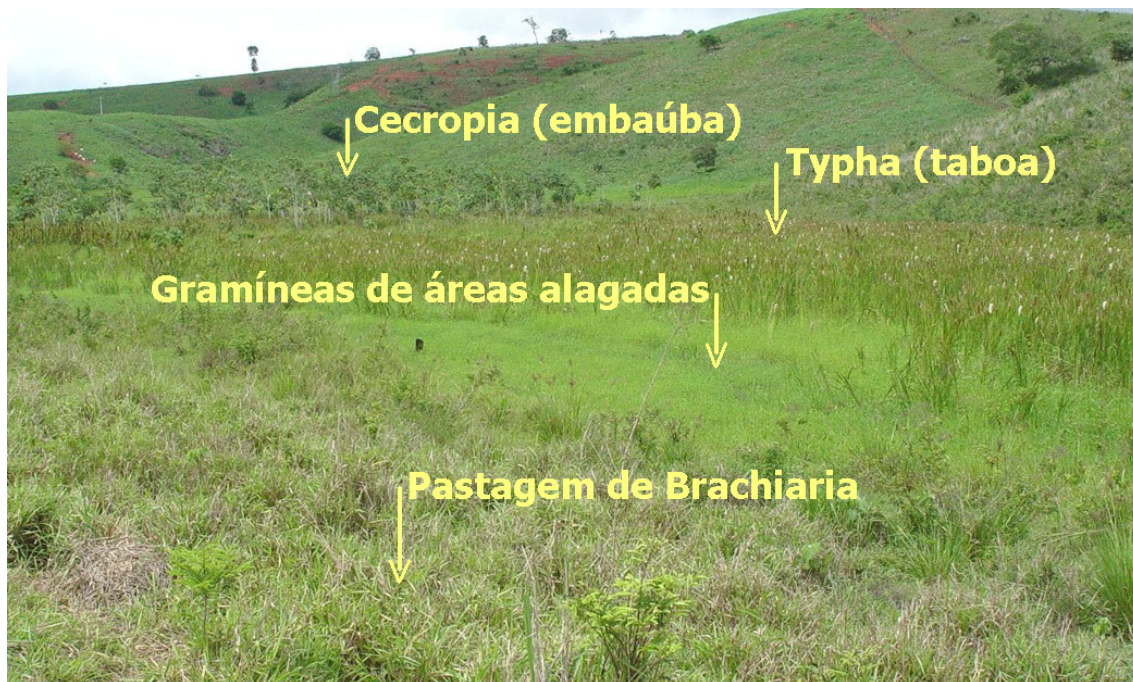


Figura 24: Lago natural em processo avançado de assoreamento. Tumiritinga (MG)

#### 4.6. Considerações gerais

Posto que a área estudada é representativa de grande parte da extensão territorial da depressão do Médio Rio Doce, no que concerne à geologia, geomorfologia, pedologia, hidrografia, clima, vegetação, processo de uso e ocupação do solo e, principalmente, ao processo de degradação ambiental, algumas considerações gerais para esta região podem ser feitas a partir dos resultados obtidos com o presente trabalho.

Considerando a gravidade e a extensão do problema ambiental nessa região, bem como as características edafoclimáticas da área e ainda, a importância estratégica do Médio Rio Doce sob o ponto de vista geográfico, econômico, social, político e ecológico, é necessário e urgente que se estabeleça um programa ambiental para esta microrregião.

Esse programa deve ser realmente efetivo na prática da obediência à legislação ambiental e voltado, sobretudo, para a recuperação e conservação dos recursos naturais, da capacidade produtiva e, principalmente, para a recuperação das áreas consideradas de preservação permanente (áreas de recarga, linhas de cumeada, matas ciliares e nascentes).

Tal proposta se justifica em virtude de que a região do Médio Rio Doce está localizada numa área geopolítica de grande contingente populacional, cortada pela principal rede viária que liga a Região Nordeste à Região Sul. É uma região onde a grande maioria dos municípios apresenta baixo índice de desenvolvimento humano.

Sob o ponto de vista ambiental, em função das características climáticas, pedogeomorfológicas e de manejo do solo, é a região que mais contribui com sedimentos na Bacia Hidrográfica do Rio Doce.

Por outro lado, esta região apresenta todo um contexto de características e condições que oferecem subsídios potencialmente favoráveis ao desenvolvimento social e econômico, seja pela perspectiva de exploração racional dos recursos naturais (clima, solo, bens minerais (água e outros) e vegetação), seja pela oferta de condições satisfatórias ao desenvolvimento do setor agropecuário e industrial.

Mas, importa entender que nenhuma ação de desenvolvimento terá êxito sem que ocorra uma mudança de postura, tanto da população estabelecida quanto do poder público, em relação às questões ambientais.

A mitigação dos problemas relacionados ao ambiente é, sem dúvida, uma questão complexa, multidisciplinar, sobretudo social, e intimamente dependente de uma legislação específica, voltada à gestão sustentável dos recursos naturais, que observe e respeite o paradigma sócio-cultural e econômico de cada povo em sua respectiva região, que busque ajustar o comportamento da população ao princípio conservacionista, bem como da democratização do uso desses recursos.

É preciso ainda que a legislação ambiental, bem como as ações de mitigação dos impactos ambientais, sejam de âmbito municipal, mas alicerçadas nas esferas estadual e federal, tendo uma sincronia convergente e somatória de recursos financeiros e técnicos, com uma distribuição racional de tarefas e responsabilidades do poder público, mas que envolvam a sociedade civil, principalmente nas fases de planejamento e execução da agenda.

Outra questão que merece abordagem particular é o apoio ao setor agropecuário, principal vocação da área, constituindo a base econômica da quase totalidade dos municípios da região. Há necessidade de buscar tecnologias que viabilizem ações de recuperação dos solos numa região

fortemente impactada pela ação antropogênica, com índices altíssimos de erosão laminar, voçorocamento, assoreamento dos corpos d'água e solos esgotados; o que justifica um plano de recuperação que, dentro de sua multidisciplinaridade, contemple o apoio de linhas de crédito específicas e legislação diferenciada, bem como apoio à programas de reflorestamento de áreas de proteção permanente (APPs).

Há uma questão social por trás de qualquer mudança que se tente realizar no uso do solo. Importa ressaltar que o melhor uso de um solo depende de uma consideração simultânea de todas as unidades de uso em uma região. É necessário que se separem as diferentes unidades de uso, buscando identificar os problemas inerentes a cada uma. Finalmente, é necessário considerar o agricultor como peça fundamental no processo de produção agrícola e tê-lo como o maior fornecedor e utilizador de informações sobre o uso do solo (Vitorino, 1986).

## 5. CONCLUSÕES

A abordagem utilizada neste trabalho permitiu a caracterização geoambiental da área de estudo, onde foram identificados quatro classes de degradação do sistema solos-vegetação, sendo que 85,32% da área foi caracterizada como de degradação alta a muito alta e 14,68% como de degradação muito baixa a moderada.

As classes de degradação identificadas na área estão relacionadas com a geomorfologia local, de maneira que as classes muito alta e alta relacionam-se, preponderantemente, com as geoformas de relevo movimentado.

As características edáficas, climáticas e geomorfológicas da área permitem um processo ativo de remoção do manto de intemperismo. Esse processo é tão mais intenso quanto mais inadequadas são as práticas de uso e manejo dos solos e pastagens.

Neste trabalho, a análise da cobertura vegetal foi indispensável na avaliação das áreas degradadas, principalmente aquelas impactadas pela ação antropogênica ligada às atividades agropecuárias.

Ainda que o trabalho tenha atingido todos os objetivos propostos, acredita-se que o período ideal para obtenção da imagem de satélite é o transicional entre verão e outono, o que corresponde ao período de março a abril. Espera-se que nesse período de pleno crescimento da vegetação os conjuntos de espécies arbóreas, arbustivas, herbáceas e, principalmente, as

diferentes espécies de forrageiras constituintes das pastagens, possam fornecer classes espectrais distintas e assim, facilitar a sua classificação e quantificação a partir do processamento da imagem.

## 6. BIBLIOGRAFIA

ABRAHÃO, W. A. P. & MELLO, J. W. V. Fundamentos de Pedologia e Geologia de interesse no Processo de Recuperação de Uma Área Degradada. In: DIAS, L. E. & MELLO, J. W. V. (Eds.). **Recuperação de Áreas Degradadas**. Viçosa, MG. UFV, 1998, 251p.: il. p.15 -26.

AB'SABER, A. N. Províncias geológicas e domínios morfoclimáticos do Brasil. **Geomorfologia**. São Paulo: v.20, 26p. 1970.

AB'SABER, A. N. Domínios morfoclimáticos e solos do Brasil. In: Alvarez, V. H., Fontes L. E., Fontes, M. P. (Eds.). **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa-MG: SBCS; UFV; DPS. p.1-18. 1996.

ALMEIDA, D. S. **Recuperação ambiental da Mata Atlântica**. Ilhéus, BA. Editus, 2000. 130p. il.

ARAUJO, Q. R. **Ação da queima e da percolação sobre a dinâmica de propriedades de um Latossolo Vermelho-Amarelo variação Una**. Viçosa (MG): UFV, 1993. 79p. il. (Dissertação de Mestrado em Fitotecnia).

ASSAD, E. D. **Uso de padrões radiométricos para separação de quatro espécies de gramíneas em condições de cerrado.** Pesquisa agropecuária brasileira, v.26, n.10, p.1625-1633, 1991.

BARCELLOS, A. O. Sistemas extensivos e semi-intensivos de produção: pecuária bovina de corte nos cerrados. In: PEREIRA, R. C. & NASSER, L. C. B. (Eds.). **Simpósio sobre cerrado, 8.** 1996, Brasília. Anais. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1996. p.130-136.

BARCELLOS, A. O. et al. **Produtividade animal em pastagens renovadas em solo arenoso de cerrado.** In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 34,1997. Juiz de Fora, Anais. Juiz de Fora: SBZ, 1997, v.4, p.207-209.

BARUQUI, F. M. **Inter-relações solo-pastagens nas regiões Mata e Rio Doce do Estado de Minas gerais.** Viçosa: UFV, 1982. 119p. (Dissertação de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).

BIGARELLA, J. J., et al. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais.** Volume 1. Florianópolis (SC): Ed. UFSC, 1994. 425p. il.

BIGARELLA, J. J., et al. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais.** Volume 2. Florianópolis (SC): Ed. UFSC, 1996. 875p. il.

BIGARELLA, J. J., et al. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais.** Volume 3. Florianópolis (SC): Ed. UFSC, 2003. 1436p. il.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Levantamento exploratório dos solos da região sob influência da Companhia Vale do Rio Doce.** Rio de Janeiro, Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo, 1970. 154p. (Boletim Técnico n° 13).

BURROUGH, P. A. **Principles of Geographical Information Systems.** Oxford University. Press. Oxford, 1996.

CAMPELLO, E. F. C. Sucessão Vegetal na Recuperação de Áreas Degradadas. In: DIAS, L. E. & MELLO, J. W. V. (Eds.). **Recuperação de Áreas Degradadas**. Viçosa, MG. UFV, 1998, 251p.: il. p.183 -196.

CAMPOS, A. **Rio Doce 500 Anos**. Arquiplan, Governador Valadares, MG. 2000. 76p. il.

CARVALHO, M. M. **Recuperação de pastagens degradadas**. EMBRAPA-CNPGL, 1993. 51p. Documento 55. Coronel Pacheco.

CARVALHO, M. M. Recuperação de Pastagens Degradadas em Áreas de Relevo Acidentado. In: DIAS, L. E. & MELLO, J. W. V. (Eds.). **Recuperação de Áreas Degradadas**. Viçosa, MG. UFV, 1998, 251p.: il. p.149 -161.

CETEC. Fundação Centro Tecnológico de Minas gerais. 1983. **Diagnóstico ambiental do Estado de Minas gerais**. Belo Horizonte: CETEC. 158p.

CHAGAS, C. S. et al. **Utilização de imagens de satélite na identificação de níveis de degradação em pastagens naturalizadas de capim gordura na Zona da Mata mineira**. 2003. 40f. Monografia (Departamento de Solos – Disciplina: Recuperação de Áreas Degradadas) Universidade Federal de Viçosa – UFV, Viçosa (MG), 2003.

CHARMELO, L. C. L. **Geoambientes da bacia do Rio São Mateus e uso irrigado de solos de tabuleiros**. Viçosa (MG): UFV, 2001. 197p.: il. (Dissertação de Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas).

CORREA, G. F. **Modelo de evolução e mineralogia da fração argila de solos do planalto de viçosa, MG**. Viçosa: UFV, 1984. 87p. (Dissertação de Mestrado).

DANTAS, M. **Ecossistemas de pastagens cultivadas: algumas alterações ecológicas**. Belém: EMBRAPA-CPATU, 1980. 19p.

DIAS FILHO, M. B. Pastagens cultivadas na Amazônia Oriental brasileira: processos e causas de degradação e estratégias de recuperação. In: DIAS, L. E. & MELLO, J. W. V. (Eds.). **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa (MG). UFV, 1998. 251p.: il. P.135-149.

DIAS-FILHO, M. B. & SERRÃO, E. A. S. **Limitações de fertilidade do solo na recuperação de pastagem degradada de capim colonião (*Panicum maximum* Jacq.) em Paragominas, na Amazônia oriental**. Belém, EMBRAPA-CPATU, 19p. (Boletim de pesquisa, 87), 1987.

DIAS, L. E. & GRIFFITH, J. J. Conceituação e caracterização de áreas degradadas. In: **Recuperação de áreas degradadas**. DIAS, L.E. & MELLO, J. W. V. (Eds.). Viçosa (MG): UFV, 1998, 251p.: il. p.1-7.

EMATER-MG. **Arquivos e relatórios técnicos**. Escritório Local da EMATER-MG em Frei Inocêncio, 1999.

ENGESAT. **Imagens de satélite**. Disponível em: <http://www.engesat.com.br/>. Acessado em 28 de janeiro de 2004.

FARIAS, C. A. **Dinâmica da revegetação natural de voçorocas na região de Cachoeira do Campo – MG**. Viçosa (MG): UFV, 1992. 63p. il. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).

FÁVERO, C. **Uso e degradação de solos na microrregião de Governador Valadares, Minas Gerais**. Viçosa (MG): UFV, 2001. 80p. il. Dissertação (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas).

FERNANDES, M. F. **Avaliação da Aptidão Agrícola da Terra de Parte do Setor Leste da Bacia do Rio Seridó, Usando Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento**. Campina Grande, UFPB, 1997. 186p. Dissertação de Mestrado.

FERREIRA, A. B. H. **Novo Aurélio Século XXI: dicionário da língua portuguesa**. 3 ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1999. 2128 p.

GIDDENS, A. **Em defesa da sociologia. Ensaio, interpretações e réplicas**. São Paulo: UNESP, 2001.

GRIFFITH, J. J., et al. A recuperação ambiental. In: **Ação Ambiental**, Viçosa (MG): UFV, ano II, número 10, p.8-11, fev/mar. 2000.

IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Manuais técnicos em geociências. Número 1. Rio de Janeiro, 1992. 92p. il.

IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Manuais técnicos em geociências. Número 1. Rio de Janeiro, 1992. 92p. il.

IBGE. **Censo agrícola de 1960: Minas Gerais**. Rio de Janeiro: IBGE, 1970.

IBGE. **Censo agropecuário: Minas Gerais**. Rio de Janeiro: IBGE, 1970; 1975; 1980; 1985; 1996.

IBGE. **IX recenseamento geral do Brasil – 1980: censo agropecuário – Minas Gerais**. Volume 2 – Tomo 3 – Número 16 – 1ª parte. Rio de Janeiro: IBGE, 1984.

IBGE. <http://www.ibge.gov.br> - acessado em 28/12/2004.

IBGE. **Sinopse preliminar do censo demográfico: VIII recenseamento geral, 1970 – Minas Gerais**. Rio de Janeiro, GB: IBGE, 1971.

IBGE. **IX recenseamento geral do Brasil – 1980: Minas Gerais**. Volume 1 – Tomo 3 – Número 14 – 1ª parte. Rio de Janeiro: IBGE, 1982.

IBGE. **Sinopse preliminar do censo demográfico 1991: Minas Gerais**. Rio de Janeiro: IBGE, 1991.

IBGE. **Censo demográfico 1991: Resultados preliminares.** Rio de Janeiro: IBGE, 1992.

IBGE. **Censo demográfico 2000: Resultados preliminares.** Rio de Janeiro: IBGE, 2000.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Metodologia de Interpretação de Dados de Sensoriamento Remoto e Aplicação na Vegetação.** São José dos Campos, INPE, 1981. 59p.

KICHEL, A. N. et al. **Degradação de pastagens e produção de bovinos de corte com a integração agricultura x pecuária.** In: FERREIRA, C. C. B. et al. (Eds.). **Simpósio de Produção de Gado de Corte, 1.** 1999, Viçosa. Anais. Viçosa: UFV, 1999. p.201- 234.

MACEDO, M. C. M. **Degradação de pastagens; conceitos e métodos de recuperação.** In: **Sustentabilidade da pecuária de leite no Brasil.** Anais. Juiz de Fora. 1999. p.137-150.

MACEDO, M. C. M. **Pastagens no ecossistema do cerrado: pesquisas para o desenvolvimento sustentável.** In: Andrade, R. P.; Barcelos, A. O.; Rocha, C. M. C. (Eds.). **Simpósio sobre pastagens nos ecossistemas brasileiros – pesquisas para o desenvolvimento sustentável, 32.** Brasília, 1995. Anais. Brasília: SBZ, 1995. p.28-62.

MACEDO, M. C. M. **Recuperação de áreas degradadas: pastagens e cultivos intensivos.** In: **Congresso brasileiro de ciência do solo, 7.** Goiânia, 1993. Anais. Goiânia: SBCS, 1993. p.71-72.

MARTINS, A. E. **Utilização de imagens de TM/Landsat-5 para qualificar e quantificar áreas degradadas na Ilha do Formoso, Estado do Tocantins.** Viçosa: UFV, 1999. 76p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal).

MARTINS, O. C., et al. Causas da degradação das pastagens e rentabilidade econômica das pastagens corretamente adubadas. In: **Congresso brasileiro de raças zebuínas, 2**. Uberaba, 1996. Anais. Uberaba: ABCZ/SEBRAE, 1996.

MIDDLETON, K. R. & SMITH, G. S. **The concept of a climax in relation to the fertiliser input of a pastoral ecosystem**. Plant and Soil, v.50, n.3, 1978, p.595-614.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 2.ed. Viçosa (MG): UFV, 2003, 307p.: il.

NAIME, U. J. **Caracterização de solos de terraços nas zonas da Mata e Rio Doce, Minas Gerais**. Viçosa (MG): UFV, 1988. 76p. il. (Dissertação de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).

NASCIMENTO JÚNIOR, D. et al. Degradação das pastagens e critérios para avaliação. In: PEIXOTO, A. M.; MOURA, J. C.; e FARIA, V. P. (Eds.). **Simpósio Sobre Manejo de Pastagem, 11**. Anais. Piracicaba: FEALQ, 1994. 325p.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta sob condições tropicais**. Viçosa: UFV, 1999. 399p.

PARZANESE, G. A. C. **Gênese e desenvolvimento de voçorocas em solos originados de rochas granitóides na região de Cachoeira do Campo, Minas Gerais**. Viçosa (MG): UFV, 1991. 117p. il. (Dissertação de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).

PEREIRA, C. O. C. **Nas terras do rio sem dono**. Rio de Janeiro: Codecri, 1988. 176p.

PETRI, S. & FÚLFARO, V. J. **Geologia do Brasil**. São Paulo: T. A. Queiroz. EDUSP, 1983. 631p. il.

PROJETO RADAMBRASIL. **Levantamento de recursos naturais**. Vol. 34, Folha SE-24 Rio Doce. Rio de Janeiro: IBGE, 1987.548 p. il.

RAMILO, G. A. I. **Geoprocessamento para caracterização geoambiental e estimativa da cobertura do solo de pastos em microbacia na Zona da mata, MG**. Viçosa (MG): UFV, 2002. 95p. il. (Dissertação de Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas).

RESENDE, M. et al. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. Viçosa, MG: NEPUT, 2002. 4.ed. 338p. il.

RESENDE, M. **Pedologia**. Viçosa (MG): UFV, 1982. 99p.

REZENDE, S. B. & RESENDE, M. Solos dos Mares de Morros: ocupação e uso. In: Alvarez, V. H., Fontes L. E., Fontes, M. P. (Eds.). **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa-MG: SBCS; UFV; DPS. p.261-288. 1996.

RIBEIRO, R. M. P. **Avaliação de métodos de classificação de imagens Ikonos II para o mapeamento da cobertura terrestre**. Viçosa (MG): UFV, 2004. ix, 53f. il. (Dissertação de Mestrado em Ciência Florestal).

SATMAPAS. Imagens de Satélite. Disponível em: <http://www.satmapas.com.br/> Acessado em 28 de janeiro de 2004.

SCHAEFER, C. E. et al. Elementos da paisagem e a gestão da qualidade ambiental. In: **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.21, n.202, p.20-44, jan/fev. 2000.

SCHAEFER, C. E. et al. **Geomorfologia da área das bacias hidrográficas do leste brasileiro: uma abordagem hidrogeomorfológica**. Viçosa (MG), 2000. 53p. il.

SERRÃO, E. A. S. et al. **Deforestation for pasture in the humid tropics: is it economically and environmentally sound in the long term?** In: International Grassland Congress, 17. 1993, Rockhampton. Proceedings. Palmerston North: New Zealand Grassland Association, 1993. p. 2215-2221.

SIMÃO NETO, M. & DIAS FILHO, M. B. **Pastagens no ecossistema do trópico úmido: pesquisas para o desenvolvimento sustentado.** In: ANDRADE, R. P. et al. (Eds.). Simpósio Sobre Pastagens Nos Ecossistemas Brasileiros. 1995, Brasília. Pesquisas para o desenvolvimento sustentável. Anais. Brasília: SBZ, 1995. p.76-93.

SOUZA, O. C. & ARAÚJO M. R. **Proposição Para o Monitoramento de Ciganinha, Invasora de Pastagens, Usando Sensoriamento Remoto.** EMBRAPA CNPGC. Campo Grande, MS. 2001. Documento 118, 16p.

SPAIN, J. M. & GUALDRÓN, R. **Degradación y rehabilitación de pasturas.** In: VI Reunión del Comité Asesor de la RIEPT. Memórias. Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales. Veracruz, México, 1988. CIAT. p.269-283.

STODDART, L. A.; SMITH, A. D. & BOX, T. W. **Range management.** New York: Mcgraw-Hill Book, 1975. 431p.

TAINTON, N. M. et al. Complexity and stability in grazing systems. In: HODGSON, J.; ILLIUS, A. W. (Eds.). **The ecology and management of grazing systems.** Oxon: CAB International, 1996. p. 275-299.

VITORINO, A. C. T. **Caracterização e interpretação, para uso agrícola, de solos de terraço fluvial, no Médio Rio Doce, Município de Córrego Novo (MG).** Viçosa (MG): UFV, 1986. 95p. il. (Dissertação de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).

## Anexo

### Ficha de Campo:

P o n t o s	GPS Coord UTM	Fotos Nº	Direção N/S/L/O	C	V	P	C	E	Geomorfologia (Observações)	Vegetação (Observações)	Níveis de Degradação e Observações
				o b S o l o	i g P a s t	l I n v a s	u p i n s	r o s ã o			

**Legenda – Colunas 5, 6, 7, 8 e 9 da Ficha de Campo: (VA = Valor Atribuído)**

VA	Cobertura do Solo	Vigor da Pastagem	Incid. Plantas Invas.	Incidência de Cupins	Erosão
0	Ótima	Ótimo	Nula	Nula	Laminar leve
1	Boa	Bom	Baixa	Baixa	Lamin. acent. / Sulcos
2	Regular	Regular	Média	Média	Sulcos / Ravinamento
3	Ruim	Ruim	Alta	Alta	Ravinam. / Voçorocas