

**LEVANTAMENTO DOS SOLOS E  
OCUPAÇÃO DA SUPERFÍCIE DO  
MUNICÍPIO DE NAZARENO, MG**

**IVANA DE MARCO FONSECA HORTA**

**2006**

**IVANA DE MARCO FONSECA HORTA**

**LEVANTAMENTO DOS SOLOS E OCUPAÇÃO DA SUPERFÍCIE DO  
MUNICÍPIO DE NAZARENO, MG**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do programa de pós-graduação em Engenharia Florestal, área de concentração Manejo Ambiental, para a obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. José Aldo Alves Pereira

**LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2006**

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca Central da UFLA**

Horta, Ivana De Marco Fonseca

Levantamento dos solos e ocupação da superfície do Município de Nazareno, MG. / Ivana De Marco Fonseca Horta. -- Lavras : UFLA, 2006.

74 p. : il.

Orientador: José Aldo Alves Pereira.

Dissertação (Mestrado) – UFLA.

Bibliografia.

1. Levantamento de solos. 2. Ocupação dos solos. 3. Sensoriamento remoto. 4. Sistema de informações geográficas. 5. Processos erosivos. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-631.47

**IVANA DE MARCO FONSECA HORTA**

**LEVANTAMENTO DOS SOLOS E OCUPAÇÃO DA SUPERFÍCIE DO  
MUNICÍPIO DE NAZARENO, MG**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do programa de pós-graduação em Engenharia Florestal, área de concentração Manejo Ambiental, para a obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 24 de fevereiro de 2006.

Prof. Luís Marcelo Tavares de Carvalho - UFLA

Prof. Marx Leandro Naves Silva - UFLA

Prof. José Aldo Alves Pereira - UFLA  
(Orientador)

**LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL**

“Cada um sabe a dor e a delícia de ser o que é...”

Caetano Veloso

À minha avó, Martha, e ao meu avô, Célio (*in memoriam*),  
exemplos de vida, justiça, esperança e perseverança,

### **DEDICO**

Aos meus pais, Bebeto e Valéria, por todo o amor, por sempre terem acreditado,  
por terem me feito acreditar, por viverem, sofrerem, rirem comigo, por tudo o  
que puderam fazer (e fizeram) para me ensinar, para sempre me apoiar, pelos  
exemplos de vida, de ética... afinal, pelas maravilhosas pessoas que são e por  
tudo que hoje sou,

### **OFEREÇO**

## AGRADECIMENTOS

A Deus por essa possibilidade.

Ao professor Dr. José Aldo Alves Pereira, pela orientação, amizade e apoio sempre.

Aos professores Dr. João José Marques e Dr. Luis Marcelo Tavares Carvalho pela co-orientação, disponibilidade, amizade e grandes contribuições.

Ao professor Dr. Marx Leandro Naves Silva pela atenção, participação na banca e valiosas sugestões.

Aos professores do Departamento de Ciências Florestais.

Ao pessoal do Projeto Maria de Barro pelo apoio, especialmente ao Agrônomo Vinícius Ferreira que gentilmente cedeu material e se dispôs a ajudar.

Ao Bodinho (Luciano) por todos os conselhos, pela presença amiga nas horas mais difíceis e pela grande ajuda e ensinamentos nas diversas fases deste trabalho.

Ao Fabiano pelo amor, amizade, carinho, compreensão, apoio e presença constantes.

Aos amigos e “irmãos” Daniel e Fred por todos os risos, pela disponibilidade, pelos trabalhos de campo, pela cumplicidade e grande presença.

Á Adata, Dri, Dani, Ana Carolina, Duda, Gleyce, Maiana e Patrícia, amigas que foram essenciais, que torceram, acreditaram, ajudaram, riram, ouviram, falaram... que sempre apoiaram.

Aos amigos Xandão, Edmilson, Elvis, Gentil, Guttemberg, João Leônidas, Pedro e Rodrigo pelas horas de bate papo, por ajudar a acalmar, pelos conselhos, pelos caldos, campos, churrascos... enfim, pela presença.

Aos companheiros do laboratório “em tese” Ricardo, Leo, Ingrid e Van pela amizade, brincadeiras, bom humor e compreensão nas dificuldades.

À Gláucia, Josely (com Y), Chica, Terezinha, Rosinha e Rose por todo apoio, amizade, paciência e disponibilidade que sempre encontraram pra mim.

Aos amigos adquiridos aqui e hoje distantes Symone e Evandro Orfanó.

Ao meu irmão, Guilherme, que eu tanto amo e admiro, por sempre crer.

À Jackie e ao tio Paulo que sempre apoiaram.

À Maria e ao Mário, exemplos de força e fé.

À Marilda e às meninas do ballet que mesmo distantes continuam imensamente presentes na vida e no coração.

À Dulceli, às minhas queridas alunas e à minha grande amiga Cris por sempre compreenderem minhas ausências e sempre me apoiarem.

A todos os meus familiares que são sempre maravilhosos e presentes na nossa pequena família.

E a todos os que, de alguma forma, ajudaram, acreditaram e torceram.

MUITO OBRIGADA!



## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
RESUMO .....	i
ABSTRACT .....	iii
1 Introdução .....	01
2 Referencial teórico .....	02
2.1 Os solos .....	02
2.1.1 Classificação e mapeamento dos solos .....	02
2.1.2 Alguns atributos que se aplicam para definir classes de solo ....	03
2.1.3 Processos erosivos .....	05
2.2 Cobertura dos solos .....	07
2.3 Sistemas de informações geográficas (SIGs) .....	08
2.4 Sensoriamento remoto .....	09
2.4.1 Processos de classificação .....	10
2.4.2 Algoritmo classificador de máxima verossimilhança .....	11
3 Materiais e métodos .....	12
3.1 Descrição da área .....	12
3.1.1 Vegetação .....	14
3.1.2 Geologia e geomorfologia .....	15
3.1.3 Solos .....	16
3.1.4 Caracterização histórica .....	17
3.1.5 Caracterização sócio-econômica .....	20
3.2 Materiais utilizados .....	21
3.3 Metodologia .....	21
3.3.1 Modelos de elevação digital (MDE) e de declividade .....	21
3.3.2 Trabalhos de campo para o levantamento dos dados .....	22
3.3.3 Análise dos atributos químicos e físicos .....	23
3.3.4 Processamento das imagens .....	23
3.3.5 Classificação da ocupação dos solos .....	26
3.3.6 Avaliação da exatidão das classificações .....	27
3.3.7 Estudo de voçorocas em imagens LANDSAT .....	29
4 Resultados e discussões .....	30
4.1 Altitude, declividade e solos .....	30
4.1.1 Descrição das classes de solos de Nazarenos, MG .....	35
4.1.2 Área das unidades de mapeamento de solos relacionadas à elevação e declividade .....	43
4.2 Ocupação dos solos .....	47
4.2.1 Imagem verão .....	52
4.2.2 Imagem inverno .....	57

4.2.3 Processos erosivos, solos e ocupação dos solos .....	60
5 Conclusões .....	65
6 Referências bibliográficas .....	66

## LISTA DE TABELAS

		<b>Página</b>
TABELA 1	Correlação entre as classes de declividade e de relevo .....	22
TABELA 2	Avaliação qualitativa do coeficiente Kappa de acordo com Landis & Koch (1977) .....	29
TABELA 3	Classes de declividade com o tipo do relevo e a área correspondente ocupada no município de Nazareno para cada classe .....	30
TABELA 4	Descrição de cada classe de solo encontrada em Nazareno, MG .....	33
TABELA 5	Descrição das unidades de mapeamento de solos encontradas em Nazareno, MG .....	33
TABELA 6	Atributos químicos do LVA do município de Nazareno, MG .....	36
TABELA 7	Análise granulométrica do LVA do município de Nazareno, MG .....	37
TABELA 8	Atributos da análise de ataque sulfúrico do LVA amostrado em Nazareno, MG .....	37
TABELA 9	Atributos químicos do LVdf analisado em Nazareno, MG .....	38
TABELA 10	Análise granulométrica do LVdf analisado em Nazareno, MG .....	38
TABELA 11	Atributos da análise de ataque sulfúrico do LVdf amostrado em Nazareno, MG .....	38
TABELA 12	Resultados das análises realizadas por Ferreira (2005) dados percentuais de V e de argila .....	39
TABELA 13	Atributos químicos do Cambissolo analisado em Nazareno, MG .....	40
TABELA 14	Análise granulométrica do Cambissolo analisado em Nazareno, MG .....	41
TABELA 15	Atributos da análise de ataque sulfúrico do Cambissolo amostrado em Nazareno, MG .....	41
TABELA 16	Área ocupada pelas unidades de solos, mapeadas no município de Nazareno, MG .....	44

TABELA 17	Unidades de mapeamento e suas correspondentes altitudes - mínima, máxima, média e desvio padrão e variação entre mínima e máxima para o município de Nazareno, MG .....	46
TABELA 18	Unidades de mapeamento e suas correspondentes declividades - mínima, máxima, média e desvio padrão para o município de Nazareno, MG .....	47
TABELA 19	Número de amostras de treinamento e de acurácia utilizadas nas classificações por máxima verossimilhança .....	48
TABELA 20	Matriz de separabilidade espectral gerada no ENVI para as regiões de interesse das amostras de treinamento - Índice Jeffries-Matusita - Imagem verão .....	54
TABELA 21	Matriz de erro das classes de ocupação dos solos do município de Nazareno (número de pontos amostrados) - Imagem verão .....	55
TABELA 22	Erros de omissão e de inclusão por classe de mapeamento em porcentagem e por pixels - Imagem verão .....	55
TABELA 23	Matriz de separabilidade espectral gerada no ENVI para as regiões de interesse das amostras de treinamento - Índice Jeffries-Matusita - Imagem inverno .....	58
TABELA 24	Matriz de erro das classes de ocupação dos solos do município de Nazareno (número de pontos amostrados) - Imagem inverno .....	59
TABELA 25	Erros de omissão e de inclusão por classe de mapeamento em porcentagem e por pixels - Imagem Inverno .....	60
TABELA 26	Voçorocas diagnosticadas no município de Nazareno: pontos de coleta de solos e respectiva localização .....	63

## LISTA DE FIGURAS

		<b>Página</b>
FIGURA 1	Categorias dos solos decorrentes da combinação dos valores de Ki e Kr .....	4
FIGURA 2	Localização do município de Nazareno, MG .....	13
FIGURA 3	Imagem LANDSAT 7 - ETM + - Município de Nazareno, data de passagem 11 de fevereiro de 2003 (imagem verão) .....	24
FIGURA 4	Imagem LANDSAT 7 - ETM + - Município de Nazareno, data de passagem 27 de junho de 2003 (imagem inverno) .....	25
FIGURA 5	Modelo digital de elevação - município de Nazareno, MG .....	31
FIGURA 6	Modelo digital de declividade - município de Nazareno, MG .....	32
FIGURA 7	Mapa de solos do município de Nazareno, MG .....	34
FIGURA 8	Perfil de LVAd (a); LVdf (b) e CXbd (c) .....	35
FIGURA 9	Percentual da área ocupada pelas unidades de mapeamento no município de Nazareno, MG .....	44
FIGURA 10	Exemplos das classes utilizadas: vegetação arbórea (a); vegetação arbustiva (b); cultura (c); pastagens e campos naturais (d); solo exposto (e), área urbana (f).e água (g) .....	49
FIGURA 11	Classificação de ocupação dos solos do município de Nazareno, MG - Imagem Verão .....	50
FIGURA 12	Classificação de ocupação dos solos do município de Nazareno, MG - Imagem Inverno .....	51
FIGURA 13	Classes de ocupação dos solos do município de Nazareno, MG, em % - Imagem verão .....	53
FIGURA 14	Classes de ocupação dos solos do município de Nazareno, MG, em % - Imagem inverno .....	57
FIGURA 15	Comparação entre as classes temáticas de culturas e solo exposto do município de Nazareno, MG, em % - imagem verão x imagem inverno .....	62

## RESUMO

HORTA, Ivana De Marco Fonseca. **Levantamento dos solos e ocupação da superfície do município de Nazareno, MG.** 2006. 74p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.<sup>1</sup>

O presente trabalho foi realizado no município de Nazareno, MG, que tem sido submetido a sérios problemas ambientais devido ao uso inadequado dos seus solos. Estes, como suporte dos ecossistemas e das atividades antrópicas sobre a terra, são importantes para explicar fenômenos de erosão e assoreamento. Informações sobre a ocupação dos solos são necessárias para o adequado monitoramento da realidade com vistas a implantar medidas mitigadoras ou corretivas. As formas da paisagem e a declividade contribuem para a identificação de características e propriedades dos solos dominantes em determinada área. Os objetivos deste trabalho foram produzir um mapa de reconhecimento de média intensidade dos solos (Escala 1:100.000) e gerar modelos representativos da ocupação dos solos do referido município, utilizando a classificação supervisionada máxima-verossimilhança, visando subsidiar futuros mapeamentos mais detalhados da área e avaliar as imagens Landsat ETM+ no reconhecimento de processos erosivos e de voçorocamento. A escolha da área de trabalho deveu-se ao elevado grau que os processos erosivos alcançaram no município. Os sistemas de informações georreferenciadas (SIGs) auxiliaram durante o processo de confecção dos mapas e de investigação da área, minimizando os custos e aumentando a qualidade e precisão dos resultados. Os resultados encontrados apresentaram cotas altimétricas no município variando de 839 a 1140 m e classe de declividade predominante variando de 8 a 20% (relevo ondulado). Foram definidas cinco unidades de mapeamento dos solos: LVAd (58%) foi predominante, seguida por CXbd02 (16%) e CXbd01 (15%). A unidade LVdf (7%) ocorreu no norte do município e a unidade GXbd ocupa a menor área em Nazareno (2%), que apresenta 2% de lâmina d'água. Sobre estas unidades de mapeamento foram identificadas sete classes de ocupação dos solos, previamente definidas e então classificadas e aferidas pela acurácia. O classificador apresentou-se eficiente, refletindo bons resultados tanto na imagem verão quanto na imagem inverno (índices kappa). As imagens classificadas, com relação às áreas de solo exposto, demonstraram fortes indícios na classificação de áreas degradadas e sob processos de erosão hídrica laminar. As imagens Landsat ETM+ não apresentaram eficiência na classificação das áreas em voçorocamento.

---

<sup>1</sup> Comitê orientador: José Aldo Alves Pereira - UFLA (orientador); João José Granate de Sá e Melo Marques - UFLA (co-orientador); Luís Marcelo Tavares de Carvalho - UFLA (co-orientador).

**Palavras-chave:** levantamento de solos, ocupação dos solos, sensoriamento remoto, sistema de informações geográficas, processos erosivos.

## ABSTRACT

HORTA, Ivana De Marco Fonseca. **Survey of soils and land use of Nazareno county, MG.** 2006. 74p. Dissertation (Master's degree in Forestry Engineering) - Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, Brazil.<sup>1</sup>

This research was accomplished in Nazareno County, MG, which has been submitted to serious environmental problems due to inadequate soil use. These problems are important to explain erosion phenomena. Information about land cover is necessary for the appropriate monitoring when implementing measures to mitigate or correct the problem. The forms of the landscape and the steepness contribute to the identification of characteristics and properties of the dominant soils in certain area. The objectives of this work were to produce an average intensity soil recognition map (Scale 1:100.000) and to generate representative models of land cover of the studied area, using the maximum-likelihood classification algorithm. It is intended to subsidize future and more detailed mapping of the area and to evaluate Landsat ETM+ images in the recognition of erosive processes and of gulling. The choice of the work area was due to the high degree that the erosive processes reached in Nazareno County. Geographic information systems (GIS) aided the mapping process and the investigation of the area, minimizing costs and increasing the quality and precision of the results. The results showed altimetry quotas in the county varying from 839 to 1140 m and the class of predominant steepness varying from 8 to 20% (wavy relief). Five soil mapping units were defined: LVAd (58%) was predominant, followed by CXbd02 (16%) and CXbd01 (15%). The unit LVdf (7%) occurred in the north of the municipal district and the unit GXbd occupies the smallest area in Nazareno (2%). On these mapping units, seven classes of land cover were defined, classified and evaluated. The classifier showed to be efficient, allowing good results both for the summer and winter images. The classified images, in relation to the areas of bare soil, demonstrated strong indications of degraded areas under processes of laminar hydrologic erosion. The Landsat ETM+ images were not efficient to classify areas subject to gulling erosion.

**Key words:** rising of soils, soils use, remote sensing, geographic information system, erosive processes.

---

<sup>1</sup> Guidance committee: José Aldo Alves Pereira - UFLA (advisor); João José Granate de Sá e Melo Marques - UFLA (co-advisor); Luís Marcelo Tavares de Carvalho - UFLA (co-advisor).



## 1 INTRODUÇÃO

A ação do homem sobre o meio ambiente potencializou a degradação dos solos, através, por exemplo, da destruição da vegetação, e não levou em consideração as gerações futuras. A necessidade de se encontrar e adequar soluções para variados problemas ambientais torna-se, por isso, cada vez mais presente. Atualmente a legislação ambiental exige os licenciamentos de empreendimentos impactantes dos mais diferentes portes: usinas hidrelétricas, minerações, estradas, empreendimentos agroindustriais, dentre outros. É necessário conhecer as áreas onde se pretende atuar, respeitando limites e potencialidades, minimizando os impactos negativos e maximizando os benefícios.

A história do município de Nazareno foi construída com base na exploração mineral e agropecuária, nas quais os cuidados e atenções com o ambiente foram negligenciados. O quadro atual é formado por severos impactos destacados pela presença de variados processos erosivos, notadamente as voçorocas. A importância de se conhecer os solos e os usos dados a eles faz-se presente, inclusive para posteriores propostas de recuperação, detalhamentos dos problemas ambientais ali ocorrentes e mitigação dos impactos, com vistas ao planejamento coerente com as reais características ambientais e antrópicas.

O presente trabalho teve por objetivos a produção de um mapa de reconhecimento de média intensidade dos solos do município de Nazareno, MG, em escala 1:100.000; e de modelos representativos da ocupação dos solos do município de Nazareno com o apoio das técnicas de sensoriamento remoto e SIG, com vistas a fornecer subsídios para futuros mapeamentos mais detalhados e avaliar as imagens Landsat ETM+ no reconhecimento de processos erosivos e de voçorocamento.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Os solos**

O solo é considerado um corpo natural organizado, uma vez que possui horizontes originados por processos pedogenéticos que o diferem das rochas e sedimentos. As características dos solos são influenciadas ou determinadas por uma combinação de fatores de formação, como: material de origem, clima, organismos, relevo e tempo (Fanning & Fanning, 1989).

O solo suporta toda a cobertura vegetal e é sobre ele que o homem realiza o uso e a ocupação do espaço. É um recurso básico, uma das maiores fontes de energia que propicia a presença dos seres vivos no planeta, os quais atuam diretamente sobre o mesmo (Bertoni & Lombardi Neto, 1990).

A importância de se conhecer e estudar o solo se deve ao fato de que ele é a base, o suporte dos ecossistemas e das atividades antrópicas sobre a terra. Ao se realizar uma análise do solo torna-se possível concluir sua potencialidade e fragilidade sob os seguintes aspectos: como elemento natural; como recurso produtivo; como substrato de atividades construídas e como concentrador de impactos; tornando-se, sua análise e classificação, imprescindíveis ao planejamento (Santos, 2004).

#### ***2.1.1 Classificação e mapeamento dos solos***

A classificação do solo pode se dar de variadas maneiras e para os mais diversificados fins (Galeti, 1989). São muitos os fatores que auxiliam nessa classificação, dentre esses, a topografia e a posição da paisagem, são relevantes uma vez que geram variadas influências nas propriedades dos solos, mesmo

quando esses são fortemente intemperizados e possuem um grau elevado de homogeneidade (Curi & Franzmeier, 1984).

De acordo com Resende et al. (2002), cada classe de solo corresponde a uma unidade taxonômica. Por sua vez, várias unidades taxonômicas constituem uma unidade de mapeamento a qual leva, geralmente, o nome da unidade taxonômica dominante. As associações de solos são agrupamentos de unidades taxonomicamente definidas que ocorrem juntas no espaço geográfico, ou seja, em associação regular e são consideradas unidades de mapeamento.

Os trabalhos de levantamento e mapeamento de solos utilizam, geralmente, a interpretação fotográfica, considerada uma ferramenta importante para gerar informações pertinentes ao mapeamento (França & Demattê, 1993; Giarola, 1994; Gomes et al., 2004). No referido trabalho pretendeu-se agir de maneira diferenciada, utilizando-se outra técnica para tais levantamento e mapeamento.

### ***2.1.2 Alguns atributos que se aplicam para definir classes de solos***

A análise dos atributos de um solo auxilia na definição das classes de solos. Ao se avaliar o valor de saturação por bases (V) encontrado nos resultados de uma análise, pode-se afirmar se esse solo é ou não distrófico. Este valor quando superior a 50% determina solos eutróficos e, abaixo desse valor, solos distróficos (Oliveira et al.; 1992).

A textura, através dos teores de argila, irá variar entre média (abaixo de 36%), argilosa (entre 36 e 60%) e muito argilosa (acima de 60%) (EMBRAPA, 1979; EMBRAPA, 1999). Os índices de intemperismo  $K_i$  e  $K_r$  permitem que, através da proporção que um solo tem de silício versus alumínio ( $K_i$ ) e, ou, de silício versus alumínio mais ferro ( $K_r$ ), seja avaliado a grau de intemperismo (ou intemperização) de um solo. Quanto maior for a quantidade de silício mais

jovem é o solo e, conseqüentemente, menos intemperizado (mais propenso ao intemperismo). A medida que o solo vai envelhecendo, há uma tendência do silício ser removido e do alumínio e do ferro se acumularem residualmente. Essas relações molares são úteis para separar Latossolos dos demais tipos de solo, uma vez que esses possuem baixos valores de Ki e elevados valores de Kr (Costa, 1995).

Em função da combinação dos valores de Ki e Kr, os solos podem se enquadrar dentro de quatro categorias: Alíticos, Sialíticos, Ferralíticos e Fersialíticos (Figura 1). Com o Ki maior que 2,2 e o Kr maior que 0,75, tem-se os solos sialíticos, os quais são ricos em silício e alumínio e pouco intemperizados. Com Ki ainda maior que 2,2, mas com o Kr menor que 0,75, ocorrem os solos fersialíticos que também são solos mineralogicamente pouco intemperizados com elevado teor de ferro e silício. Os solos que possuem Ki menor que 2,2 e o Kr maior que 0,75 são os chamados alíticos, que possuem pouco silício e muito alumínio e já são mais intemperizados, e, por último, têm-se os solos com Ki menor que 2,2 e Kr menor que 0,75 que resultam nos solos ferralíticos, os quais possuem pouco silício, muito alumínio e muito ferro e são muito intemperizados (Moniz, 1972).

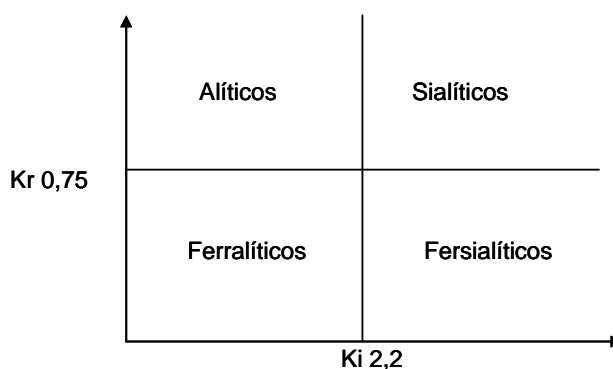


FIGURA 1 - Categorias dos solos decorrentes da combinação dos valores de Ki e Kr.

Os horizontes diagnósticos superficiais potencializam a definição das classes de solos. Como exemplos podem-se citar: o horizonte A moderado, que possui baixos valores de matéria orgânica (MO) e apresenta, de forma geral, uma pequena diferença textural do horizonte A para o B (Oliveira et al.; 1992); o horizonte A húmico álico, caracterizado por apresentar um teor de MO mais elevado, um baixo valor de saturação por bases e um elevado valor de saturação por alumínio, ou seja, acima de 50%, caracterizando-o como álico (Oliveira et al.; 1992); o horizonte Hístico (H) que é definido pela constituição orgânica resultante da acumulação de resíduos vegetais superficialmente depositados, apresenta coloração escura e constitui-se de camadas superiores espessas em solos orgânicos; entre outros.

### ***2.1.3 Processos erosivos***

O solo é muito importante para explicar os fenômenos de erosão e assoreamento. Tais fenômenos, na área rural, estão intimamente ligados à agricultura, que por sua vez altera fortemente o ambiente, suscitando a presença de sérios impactos que rompem o equilíbrio natural do meio (Santos, 2004).

O avanço de processos erosivos constitui um grave problema que leva ao depauperamento de grandes áreas agricultáveis no Brasil. A erosão hídrica consiste basicamente numa série de transferências de energia e matéria geradas por um desequilíbrio do sistema água, solo e cobertura vegetal, as quais resultam numa perda progressiva do solo (Mafra, 1999). Essa perda se dá através do transporte de partículas em suspensão nas enxurradas que provêm das águas das chuvas que não ficam retidas sobre a superfície e que não se infiltram (Bertoni & Lombardi Neto, 1990). A resistência dos solos a esse tipo de erosão resulta da variabilidade climática a qual interfere na capacidade das chuvas em causar

erosão, na variação das classes de solos com seus diferentes atributos e formas de manejo, possuindo, portanto, grande amplitude (Martins et al., 2003).

As variadas classes de solos reagem de diferentes maneiras aos processos erosivos. Os atributos físicos e químicos dos solos possibilitam uma maior ou menor resistência à ação das águas resultando em comportamentos específicos quando expostos as semelhantes condições de chuva, topografia e cobertura vegetal (Bertoni & Lombardi Neto, 1990).

A erosão pode ser considerada como “geológica normal ou natural” ou como “induzida ou acelerada”. A primeira é um fenômeno natural e constitui-se nos processos de intemperismo das rochas, por efeito, principalmente, de fatores climáticos. Esse processo irá originar o solo e, em condições naturais ocorrerá um equilíbrio entre os processos de formação e desgaste do mesmo. A segunda, por sua vez, ocorre devido à interferência antrópica no meio, que gera desequilíbrios, ao, por exemplo, retirar do solo sua cobertura vegetal natural. Nessa situação, o desgaste ocorrerá em um ritmo muito mais rápido que o de formação originando um sério e, por vezes irreversível, processo de degradação (Pereira et al., 1992).

O estudo das formas do relevo, representadas pela declividade e pelo comprimento das vertentes, exerce grande influência sobre a erosão determinando as diferentes trajetórias do escoamento das águas sobre o terreno e a velocidade do mesmo, da qual irá depender o tamanho e a quantidade, através do cisalhamento e do material em suspensão a ser arrastado. Este estudo possibilita, portanto, o entendimento e a quantificação da erosão e da variabilidade das principais propriedades do solo (Bertoni & Lombardi Neto, 1990; Cogo et al., 2003; Souza, et al., 2003).

Os trabalhos realizados por Cunha (2000) e Pocay (2000) mostram a direta relação existente entre os diferentes tipos de erosão e a variabilidade das propriedades do solo, as quais, por sua vez variam de acordo com a forma da

paisagem (Silva, 1990). Desse modo, o entendimento das formas da paisagem e da declividade poderá auxiliar na identificação dos atributos dos solos dominantes de uma determinada área no espaço (Souza, 2001). Esses parâmetros são úteis para realizar a caracterização das associações de solos dominantes em uma área específica.

## **2.2 Cobertura dos solos**

O homem sempre interferiu nos recursos naturais, construindo e reordenando os espaços físicos. Tal interferência se dá no sentido de criar novas situações através da implantação de cidades, estradas, atividades agrícolas etc (Sousa & Souza, 2002).

A atuação do homem sobre o meio ambiente, degradando e até mesmo erradicando a vegetação, sem considerá-la como parte de um todo, pode originar sérios e, por vezes, irreversíveis processos de empobrecimento dos solos, através da exposição e do carreamento da parte fértil da superfície do solo desnudo que irá deflagrar os processos erosivos (Fleury, 1995). Conhecer os efeitos dos diferentes usos do solo sobre a movimentação das águas e, conseqüentemente dos sedimentos no relevo de uma região, é importante para a tomada de decisões sobre o manejo adequado da utilização da terra (Kuhnle et al., 1996).

As características da vegetação presente em um tipo específico de solo podem produzir determinados efeitos sobre o mesmo, minimizando ou agravando certos impactos, tais como: a proteção direta do solo contra o impacto das gotas de chuva; a dispersão da água, uma vez que a vegetação pode interceptá-la, permitindo sua evaporação antes que a mesma atinja o solo; a melhoria da estrutura do solo devido à adição de matéria orgânica, potencializando a capacidade de retenção de água; a decomposição das raízes das plantas que aumenta a infiltração de água no solo ao originar canalículos; e a

diminuição da velocidade da enxurrada devido ao aumento do atrito na superfície (Bertoni & Lombardi Neto, 1990).

As ações antrópicas sobre o meio ambiente geram diversificadas alterações na distribuição e composição da vegetação no tempo e no espaço (Roy & Tomar, 2001 citado por Wachholz & Pereira Filho, 2004). Mas a disponibilidade de informações sobre o uso atual do solo de determinada área pode munir as entidades governamentais para o adequado monitoramento preventivo de riscos que estejam associados ao mau uso dos solos (Giarola et al., 1997).

Hoje, o modelo de desenvolvimento econômico que se sobrepõe às justas e adequadas ordenações ambientais, já alterou e altera consideravelmente os ecossistemas terrestres. Mas, um fator que tende a mudar cada vez mais tais características é que as áreas anteriormente ocupadas e exploradas pelo homem diminuiram sua produtividade, e a forma que se visualiza é investir em projetos de recuperação que possibilitem torná-las novamente produtivas (Cunha & Guerra, 2003).

### **2.3 Sistemas de informações geográficas (SIGs)**

Os SIGs são constituídos por um grupo de “ferramentas” específicas para coleta, tratamento, recuperação, visualização, armazenamento e análise de informações georreferenciadas com vistas a obter novas informações nas mais diversas áreas do conhecimento científico (Câmara & Davis, 2002; Castanho et al., 2005). O geoprocessamento direciona suas técnicas matemáticas e computacionais, para o tratamento de dados adquiridos sobre objetos ou fenômenos geográficos identificados (Moreira, 2003). Assim sendo, permite a realização de simulações de alterações decorrentes em um ou mais fatores que compõem a paisagem a ser estudada possibilitando prever a ocorrência ou não



de impactos ambientais (Silva et al., 2003). E possibilitam a sobreposição de diferentes mapas temáticos com o cruzamento de seus dados, além de variados e complexos cálculos (Piroli, 2002).

A possibilidade de se gerar um banco de dados geoambiental através da utilização da cartografia computadorizada, do suporte de uma estatística inferencial aliados à utilização de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) permite que seja provido um modelo operacional para subsidiar diversificados projetos de fundo ambiental (Costa et al., 2005). A utilização dos SIGs é, ideal para o acompanhamento da dinâmica da utilização das terras e para a análise espacial dos objetos ao longo do tempo (Wachholz & Pereira Filho, 2004). É também considerada uma importante ferramenta para auxiliar na caracterização dos solos, pois possibilita a minimização do custo e do tempo da manipulação de mapas e da investigação de áreas, além de maximizar a qualidade e precisão dos resultados fornecidos (Silva et al., 2003).

#### **2.4 Sensoriamento remoto**

O sensoriamento remoto, segundo Lillesand & Kiefer (2000), é definido como a ciência e a arte de obtenção de informações, através do uso de (um ou) variados sensores sobre um objeto, área ou fenômeno, com base na análise dos dados coletados remotamente, sem contato físico com o alvo estudado. Os sensores geralmente são instalados em aeronaves ou satélites e detectam a energia eletromagnética que é espalhada, refletida e, ou, emitida da superfície terrestre (Tso & Mather, 2001). De acordo com Novo (1992), este processo permite estudar o ambiente registrando e analisando o intercâmbio existente entre a radiação eletromagnética (REM) e as substâncias que compõem a Terra em suas variadas manifestações.

### ***2.4.1 Processos de classificação***

Durante o processo de classificação cria-se um nível único de informação temática, as classes e, cada pixel da imagem será categorizado de acordo com a ocupação do solo, através da utilização de *softwares* específicos (Moreira, 2003). Os algoritmos de classificação são utilizados para extrair as feições (classes) de interesse a partir de um espaço multi-dimensional que, geralmente, é representado pelas bandas da imagem (Maillard, 2001; Dutra, 2005).

Uma classificação pode ser considerada supervisionada quando as amostras para a sua concretização são determinadas pelo analista; e, não supervisionada, quando o analista não coleta as amostras e opta pelo programa de processamento para implementar a classificação (Ferreira et al., 2001). A classificação supervisionada usa amostras de identidade conhecida para classificar pixels de identidade desconhecida. O analista, portanto, fornece ao sistema de classificação amostras de treinamento das classes de interesse da cena a ser classificada, ou seja, ele direciona o reconhecimento dos padrões espectrais na imagem (Novo, 1992; Lillesand & Kiefer, 2000; Moreira, 2003; Dutra, 2005). A aquisição das amostras de treinamento é considerada a etapa mais importante desse processo, considerando-se imprescindível que elas capturem toda a heterogeneidade do objeto no espectro, representando bem as classes de interesse.

Dentre as técnicas de classificação supervisionadas, o classificador de máxima verossimilhança é uma aproximação estatística para o reconhecimento de padrões. Nestes, a probabilidade de um pixel pertencer a cada uma das classes que foram pré-definidas é calculada e o pixel é, então, assimilado pela classe para qual a probabilidade é maior (Tso & Mather, 2001).

#### ***2.4.2 Algoritmo classificador de máxima verossimilhança***

O classificador de máxima-verossimilhança consiste em um princípio estatístico paramétrico que se baseia na teoria bayesiana de probabilidade (Pereira et al. 1995, citado por Bolfe et al.; 2004). Utiliza o vetor de padrões e a matriz de covariância de um conjunto amostral de distribuição gaussiana no espaço de atributos (Lillesand & Kiefer, 2000; Gonzáles & Woods, 2000; Tso & Mather, 2001). A máxima verossimilhança se destaca dentre os outros classificadores paramétricos por demonstrar um bom desempenho para a classificação da superfície da Terra (Carvalho, 2001; Oliveira et al., 2002).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Descrição da área

O trabalho foi realizado no município de Nazareno, MG (21°21'S e 44°61'W) que possui altitude média de 935 m e área de 328 km<sup>2</sup> (Figura 2). Inserido na superfície Cristalina do Alto Rio Grande, Bacia do Alto Rio Grande (área de drenagem de 15 mil km<sup>2</sup>) (Marques et al., 2002, Zuliani, 2003). O município de Nazareno faz divisa com os municípios de São Tiago, Bom Sucesso, Ibituruna, Conceição da Barra de Minas, Itutinga, Carrancas e São João Del Rei.

Nazareno é caracterizado por um clima tropical de altitude com a ocorrência de verões quentes e úmidos e invernos frescos e secos. As chuvas, portanto, ocorrem concentradas nos meses de novembro a fevereiro, com uma precipitação média anual de 1.200 a 1.500 mm. Segundo a classificação de Köppen, o clima predominante é o Cwa com uma temperatura média anual de 18 a 19°C (Antunes, 1986).

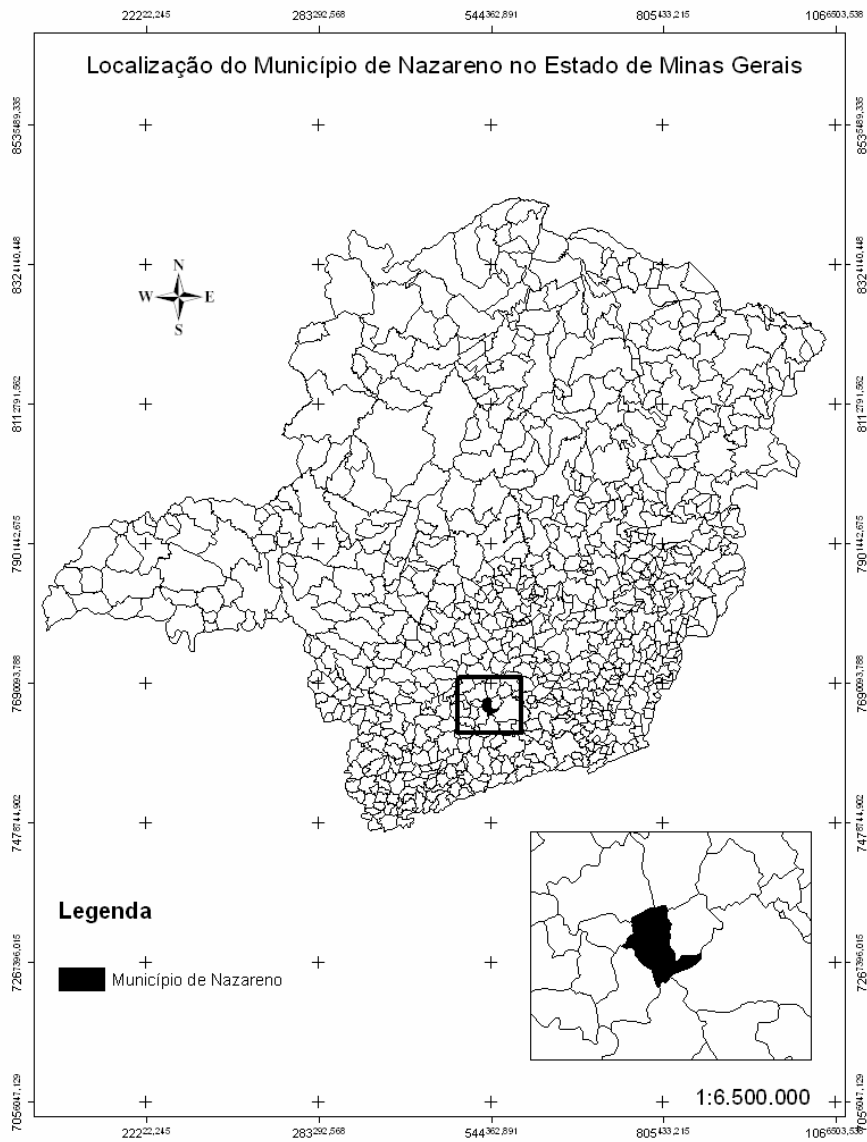


FIGURA 2 - Localização do município de Nazareno, MG.

### **3.1.1 Vegetação**

A região corresponde a um mosaico vegetacional composto por um ecótono entre duas fisionomias vegetais distintas: floresta estacional semidecidual e cerrado tropical semidecidual (savana) (IBGE, 1992). Podem ser encontrados, ocasionalmente, campos hidrófilos de várzea nas baixadas (Giarola et al., 1997). As principais formações vegetacionais naturais e antrópicas que ocorrem no município são:

- **Floresta Tropical Semidecidual**

Essa formação vegetal primária, no município, está reduzida, praticamente, a remanescentes arbóreos. Seus espécimes são altos, esgalhados, com o fuste fino, possuem poucas lianas e epífitas e tendem a ter estrato arbustivo pobre. Cerca de 20 a 50% das árvores, no conjunto da vegetação, são decíduais (MINAS GERAIS, 1980; IBGE, 1992).

- **Cerrado Tropical Semidecidual (Savana)**

Constituído por árvores de alturas variáveis, relativamente espaçadas, que podem alcançar até 8 metros, apresenta-se como uma vegetação aberta. As árvores e arbustos possuem o córtex dos troncos muito suberoso, fendilhado, estriado e, geralmente, tortuosos. As folhas são, comumente, pilosas e, ou coriáceas. (BRASIL, 1962; MINAS GERAIS, 1980; IBGE, 1992).

- **Campo Hidrófilo de Várzea**

Formações vegetais influenciadas pelo relevo e condicionadas à drenagem. Possuem fisionomia graminóide e dominam as áreas baixas, úmidas e, ou alagadas. (BRASIL, 1962, Giarola et al., 1997).

- **Campos Secundários (Pastagens)**

São formações instaladas, formam-se espontânea ou subespontaneamente, após a destruição da vegetação anterior, seguida de queimadas e do uso agrícola passageiro. Sua fisionomia é resultante de uma

modificação profunda que é gerada pela interferência antrópica e origina uma paisagem com aspecto de pradaria (Giarola et al., 1997).

### **3.1.2 Geologia e geomorfologia**

O município de Nazareno está inserido na margem sul do “Cráton São Francisco” no “Domínio dos Remanescentes de Cadeias Dobradas” na “Região dos Planaltos do Alto Rio Grande”, na bacia de margem passiva neoproterozóica de “Andrelândia” (Planalto Andrelândia) onde se insere o “Planalto dos Campos das Vertentes” (BRASIL, 1983; Ribeiro et al., 1995; Giarola et al., 1997; Ferreira, 2005). A bacia deposicional Andrelândia foi sedimentada entre 1,0 e 0,6 Ga, pelo ciclo Andrelândia (arenitos e pelitos) (Ribeiro et al., 1995).

O Domínio dos Remanescentes de Cadeias Dobradas é formado por conjuntos de modelados que provêm de estruturas que foram dobradas durante os ciclos geotectônicos. Nas áreas abrangidas por esses ciclos, diversificadas formas estruturais são base para especificidades do relevo. Os dobramentos foram elaborados em rochas proterozóicas e truncados por superfícies de aplainamento antigas. Atualmente a região é caracterizada pela presença de vestígios dessas estruturas dobradas com comuns exposições do embasamento. Os processos erosivos têm denotado os traços deixados pelo tectonismo e as diversidades litológicas dessas dobras e das superfícies de aplainamento (Marques et al., 2002).

O Grupo Andrelândia, atribuído à idade Proterozóica (Pré Cambriano) foi definido como uma seqüência metassedimentar pelítica metamorfizada que possui desde xistos verdes até anfíbolitos. Além de uma alternância entre micaxistos e quartzitos, o Grupo Andrelândia possui granada, estaurólita, silamita e gnaisses. No município de Andrelândia (onde o grupo foi descrito) são comuns pedreiras e afloramentos de cianita - granada - biotita - gnaisses e

também cianita - granada - muscovita - biotita - quartzo - xistos e nesses xistos ocorrem intercalações de muscovita - quartzitos e corpos de anfibólitos, contendo ou não granada (Marques et al., 2002).

O Planalto Andrelândia, inserido na Região dos Planaltos do Alto Rio Grande (Giarola et al., 1997; Ferreira, 2005), é constituído por relevos elaborados em rochas metassedimentares dos Grupos São João Del Rei, Carrancas e Andrelândia e do Complexo Amparo, além dos quartzitos e de alguns trechos independentes de rochas cristalinas do Gnaiss-Piedade.

O relevo local possui, geralmente, um padrão de dissecção homogêneo com drenagem de densidades média a grosseira. É caracterizado por colinas com topos convexos e tabulares e encostas convexas intercaladas por cristas alongadas e, geralmente, assimétricas, com declives de 10 a 50% e planícies de inundação, em geral, estreitas (CETEC, 1983; BRASIL, 1983). Devido a uma soma de fatores tais como: alteração da rocha, alta quantidade de mica e ausência de cobertura vegetal (que propicia o deslizamento dos pacotes alterados), são comuns voçorocas com vários metros de extensão e largura. Os solos têm como material de origem, o produto da alteração de micaxistos do Grupo Andrelândia e do Proterozóico Superior. A drenagem possui características dendríticas e os coletores principais são os Rios Grande e das Mortes (Giarola et al., 1997; Marques et al., 2002; Ferreira, 2005).

### **3.1.3 Solos**

Os principais solos do município de Nazareno são os Cambissolos, os Latossolos Vermelhos-Amarelo (LVA) e Latossolos Vermelhos (LV). Os solos são, geralmente, derivados de rochas pelíticas pobres, o que os tornam favoráveis a processos erosivos.



Os LVAs são solos muito profundos, assim como os LVs, os quais possuem uma modesta diferenciação na sua seqüência de horizontes A-Bw-C. Tanto nos LVAs como nos LVs, o horizonte A mais comum é o moderado e, os primeiros, apresentam, de forma geral, uma pequena diferença textural do horizonte A para o B (Oliveira et al.; 1992). São solos, comumente distróficos ou álicos, com teores de bases trocáveis, geralmente, baixos e teor moderado de umidade. Na maioria das vezes apresentam-se bem acentuadamente drenados. São, na maioria das vezes, distróficos ou álicos, mas podem, também, ser eutróficos (Oliveira et al.; 1992; Resende et al., 2002).

Os Cambissolos são caracterizados pela seqüência de horizontes A-Bi-C e localizam-se nas áreas mais jovens do relevo. Em termos de ambiente, são um grupo muito heterogêneo podendo quando originados de ardósia ou filitos ter como cobertura vegetal campo limpo ou campo sujo. (Oliveira et al., 1992; Resende et al., 2002).

#### ***3.1.4 Caracterização histórica***

A Bacia do Alto Rio Grande possui elevada importância devido a localizar-se estrategicamente no centro de um triângulo que tem por vértices três dos principais aglomerados urbanos e econômicos do país: Belo Horizonte, São Paulo e Rio de Janeiro (Marques et al., 2002). Com relação ao potencial hidrelétrico, na região do Alto Rio Grande existem três Usinas Hidrelétricas (UHEs) em funcionamento: Camargos (48 MW), Itutinga (52 MW) e Funil (180 MW).

O processo de ocupação da Bacia do Alto Rio Grande começou a tomar forma no período colonial sendo esta a primeira região de Minas Gerais a ser ocupada pelos colonizadores portugueses no fim do século XVII (Marques et al., 2002). Com a descoberta das minas de metais e pedras preciosas pelas bandeiras

e expedições que adentravam as Minas Gerais através do rio Grande, surgiram, entre os séculos XVII e XVIII os primeiros povoados (Dutra, 2005).

Durante séculos a mineração foi a principal atividade econômica da região. Em 1690 os paulistas descobriram minas de ouro e, após isso, em cerca de 20 anos vários riachos muito ricos desse minério foram encontrados. Esses localizavam-se em um arco ao longo da Serra do Espinhaço (de Belo Horizonte até São João Del Rei).

As descobertas de ouro e diamante do século XVIII foram as mais importantes advindas do Brasil colonial. Entre 1700 e 1800, afora o ouro que escapou do fisco real, um milhão de quilos foram oficialmente retirados das minas de regiões auríferas e, o impacto dessa fartura sobre a colônia foi imenso. O fluxo populacional e de recursos foi direcionado para essas regiões que se situavam ao longo da fronteira da Mata Atlântica (Dean, 1996). Em 1725 foi construída a Capela de Nossa Senhora de Nazaré, base originária do município de Nazareno que àquela época era comarca de São João Del Rei (Ferreira, 2005).

O ouro era encontrado em sopés de montanhas, em tipos específicos de argila a um ou dois metros de profundidade e em formações rochosas friáveis. Essa mineração era realizada pelos escravos que misturavam uma massa que ficava acumulada no fundo das valas e depois carregavam manualmente essa massa para ser bateada em um riacho desviado. Para que fosse obtido um único cesto de ouro, chegavam a retirar de 50 a 100 mil cestos de terras. Esse tipo de mineração substituiu a Mata Atlântica por charnecas esburacadas.

O desnudamento das encostas ocasionou a erosão de camadas de terra, gerando gigantescos sulcos, as voçorocas, além de ter intensificado o assoreamento de leitos de rios e a ocorrência de enchentes. Esses fatores são, recentemente, tão generalizados e antigos que parecem ser características naturais da paisagem (Dean, 1996).

A partir de 1750, com a exaustão das minas e o declínio do Ciclo do Ouro em Minas Gerais, houve a fixação das populações das minas em fazendas agropecuárias nas redondezas das regiões auríferas (Zemella, 1990; Filetto, 2000; Dutra, 2005). Através das vias de acesso que foram abertas por ocasião do ciclo do ouro a cultura cafeeira foi introduzida e se expandiu pelo Estado no século XIX (Filetto, 2000).

A pecuária leiteira é a principal atividade agrícola da região, mas, nos últimos anos, apesar de serem iniciativas isoladas e localizadas, ocorreu um crescimento significativo das áreas plantadas com milho (*Zea mays* L.). De maneira geral, na região do Alto Rio Grande é visível um aumento da pecuária de corte semi-extensiva, do reflorestamento e das capoeiras (vegetação secundária de rebrota natural) em detrimento de atividades agrícolas mais intensivas (Marques et al., 2002).

A forma como se deu a ocupação na região do Alto Rio Grande ocasionou conseqüências intensas para a paisagem natural, tais como a redução da cobertura natural primitiva em remanescentes esparsos geralmente muito perturbados pelo fogo, pela pecuária extensiva ou pela retirada seletiva de madeira (Dutra, 2005). Esse fato reduziu, particularmente, as florestas semidecíduas, uma vez que a ocorrência das mesmas coincide, geralmente, com os solos mais férteis e úmidos e, por isso, mais visados pela agropecuária (Oliveira-Filho et al., 1994).

Atualmente, variados recursos minerais encontram-se em exploração (ouro, estanho, manganês, cassiterita, tântalo etc) (Soares et al., 1994) o que denota sérios problemas ambientais (Marques et al., 2002).

O município de Nazareno teve sua emancipação decretada em 1954. É marcado por intensos e graves processos erosivos, associados a origens históricas e são potencializados por características físicas e químicas dos solos

locais, pela má utilização antrópica que, por vezes, não levou em conta a classe de capacidade de uso somado a um adequado manejo dos solos (Ferreira, 2005).

Segundo pesquisas realizadas por Giarolla (1994), as perdas de solo na Bacia do Rio Grande atingem 593 t/ha.ano e estão 4000% acima dos níveis de tolerância. Cerca de 84% das propriedades rurais da região sofrem prejuízos diretos causados por processos erosivos. No município de Nazareno cerca de 1.000 ha de terras agricultáveis estão indisponibilizados e, acrescenta-se que a maior parte do uso atual das terras está em desacordo com sua aptidão agrícola.

### **3.1.5 Caracterização sócio-econômica**

Da população residente no município, o maior percentual (79%) reside na área urbana (IBGE, 2000). Existe uma migração intra-regional e rural urbana masculina muito elevada e, quando os homens migram, as mulheres ocupam a chefia da família. O típico produtor rural do município possui mais de 40 anos e reside em sua propriedade há mais de 20 anos, a qual possui tamanho médio de 100 ha. A lavoura de subsistência, associada à extração vegetal ainda domina as atividades das populações tradicionais da área rural, mas essas estão sendo deslocadas para atividades de lavouras de caráter comercial, por serviços na construção civil, serviços domésticos e artesanatos (Ferreira, 2005).

Os pequenos estabelecimentos que predominam nas atividades rurais são voltados, quase que unicamente, para a produção leiteira que é a principal atividade econômica da região. Atualmente têm sido implantadas lavouras de café e maracujá em áreas expressivas, além de serem comuns pequenas lavouras de subsistência de milho, arroz e cana-de-açúcar. A maior parte dos solos municipais está ocupada por pastagens secundárias que, em alguns casos, surgiram após o abandono da lavoura e denotam, hoje, sinais acentuados de degradação por erosão hídrica (Motta et al., 2001). As extrações de cassiterita e

óxido de manganês predominam entre as atividades extrativistas (Ferreira, 2005). O município apresenta um IDH (Índice de Desenvolvimento Humano) de 0,727, estando abaixo das médias nacional (0,777) e regional (0,766) (IBGE, 2000).

### **3.2 Materiais utilizados**

A base cartográfica utilizada foi composta pelas seguintes cartas planialtimétricas: São João Del Rey, Folha SF-23-X-C-II-1; Nazareno, Folha SF-23-X-C-I-2; Madre de Deus de Minas, Folha SF 23-X-C-II-3 e Itutinga, Folha SF 23-X-C-I-4, em escala 1:50.000 editadas pelo IBGE em 1969. Foram usadas as imagens digitais do satélite Landsat 7/ETM + (Enhanced Thematic Mapper Plus) com datas de passagem de 11 de fevereiro (imagem verão) e de 27 de junho (imagem inverno) de 2003 além dos dados das análises de solos realizadas por Ferreira (2005).

### **3.3 Metodologia**

#### ***3.3.1 Modelos digitais de elevação (MDE) e de declividade***

Com base em curvas de nível eqüidistantes de 20 m, digitalizadas das cartas planialtimétricas foi gerado (Laboratório de Manejo Florestal da UFPA) um modelo de elevação para o município de Nazareno, MG. Esse modelo foi derivado da triangulação dos valores dos dados hipsométricos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) gerando uma malha irregular “*triangular irregular network*” (TIN), a qual foi convertida para o formato raster originando o modelo de elevação digital com resolução espacial de 30 x 30 m (Scolforo, 2005).

Através do cálculo da primeira derivada do MDE, gerou-se uma imagem representativa da declividade do terreno. Os intervalos entre as classes de declividade foram definidos percentualmente e correlacionados ao relevo (Tabela 1).

TABELA 1 - Correlação entre as classes de declividade e de relevo (Lemos & Santos, 1996).

<b>Classes de declividade (%)</b>	<b>Relevo</b>
0 - 3	Plano
3 - 8	Suave ondulado
8 - 20	Ondulado
20 - 45	Forte ondulado
45 - 75	Montanhoso
>75	Escarpado

Com base no MDE, definiu-se uma legenda preliminar dos tipos de solos ocorrentes em Nazareno.

### **3.3.2 *Trabalhos de campo para o levantamento dos solos***

Para a realização do levantamento dos solos do município de Nazareno, MG, foram realizados trabalhos de campo que permitiram a conferência da legenda preliminar. Os trabalhos de campo foram realizados em agosto de 2005 e consistiram na observação da paisagem e dos solos do município; na definição de três pontos amostrais e de três perfis representativos e na coleta de sete amostras para a caracterização física e química através de análises laboratoriais.

### **3.3.3 *Análise dos atributos químicos e físicos***

A análise granulométrica foi realizada após dispersão da amostra com NaOH mol.L<sup>-1</sup> e agitação rápida (6000 rpm) por 15 minutos, tendo a argila sido determinada pelo método do densímetro (EMBRAPA, 1997).

Os componentes do complexo sortivo, pH em água e teor de C orgânico foram avaliados segundo Embrapa (1997), assim como os teores de Zn, Fe, Mn, Cu B e S. Os teores de SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> foram determinados através de ataque sulfúrico (EMBRAPA, 1997).

### **3.3.4 *Processamento das imagens***

Foi realizado o processamento digital da imagem ETM+, com utilização das bandas espectrais 3, 4 e 5, de intervalo espectral 0,63-0,69 µm, 0,76-0,90 µm e 1,55-1,75 µm. Essas foram processadas de forma a elaborar a composição colorida, associando as bandas 3, 4 e 5 aos canais azul, vermelho e verde, respectivamente que potencializa a diferenciação da ocupação dos solos (Sulsoft, 2004).

Nesse trabalho, todos os dados foram registrados para a projeção cartográfica UTM, datum SAD/69, fuso 23. A imagem com data de passagem de 11 de fevereiro de 2003 (imagem verão) (Figura 3) foi registrada por Ferreira (2005). O registro da imagem com data de passagem de 27 de junho de 2003 (imagem inverno) (Figura 4) foi realizado de imagem pra imagem, utilizando como referência a primeira, através da coleta de cinco pontos de controle coincidentes entre elas.

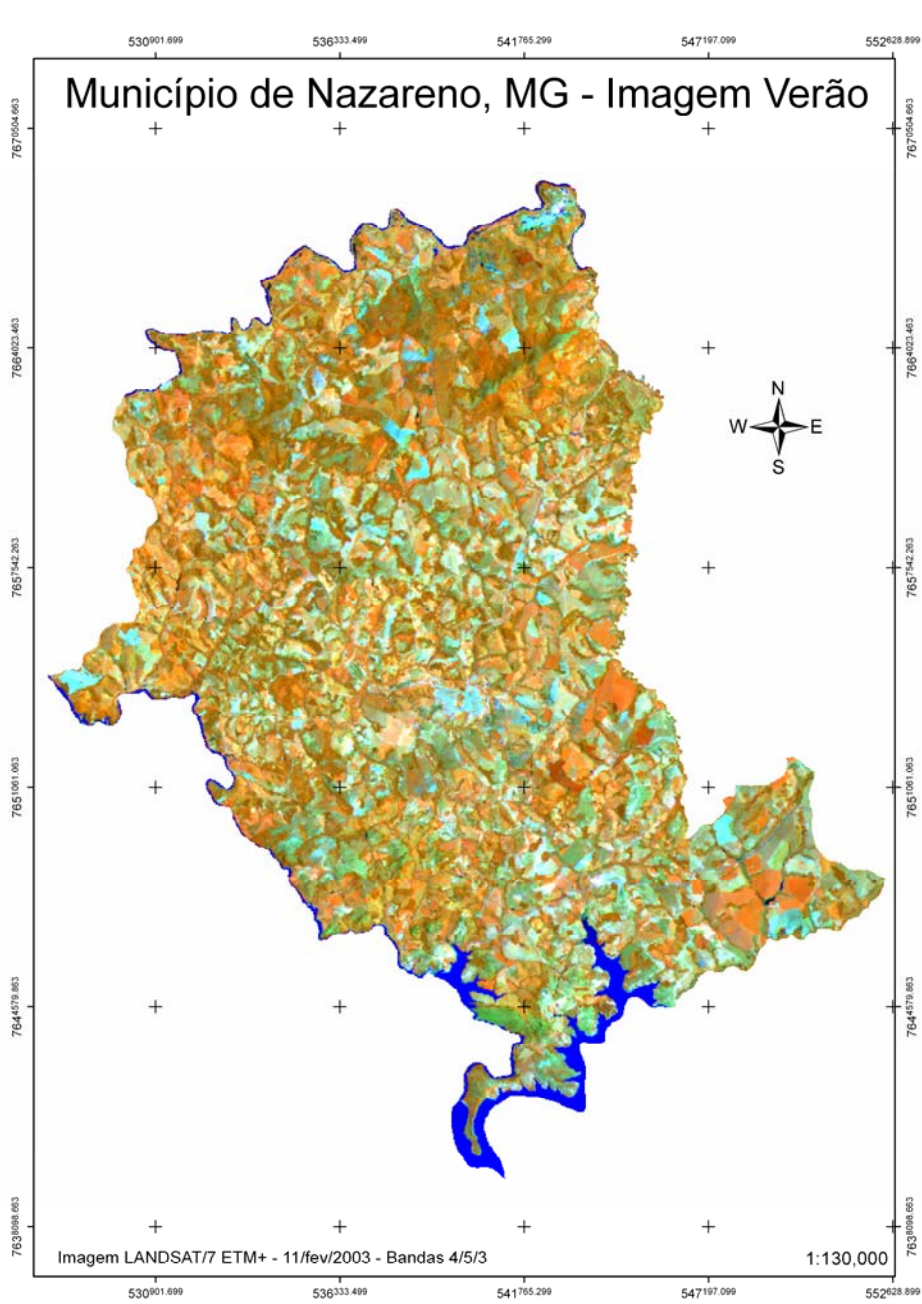


FIGURA 3 - Imagem LANDSAT/7 - ETM + - Município de Nazareno, data de passagem 11 de fevereiro de 2003 (imagem verão).



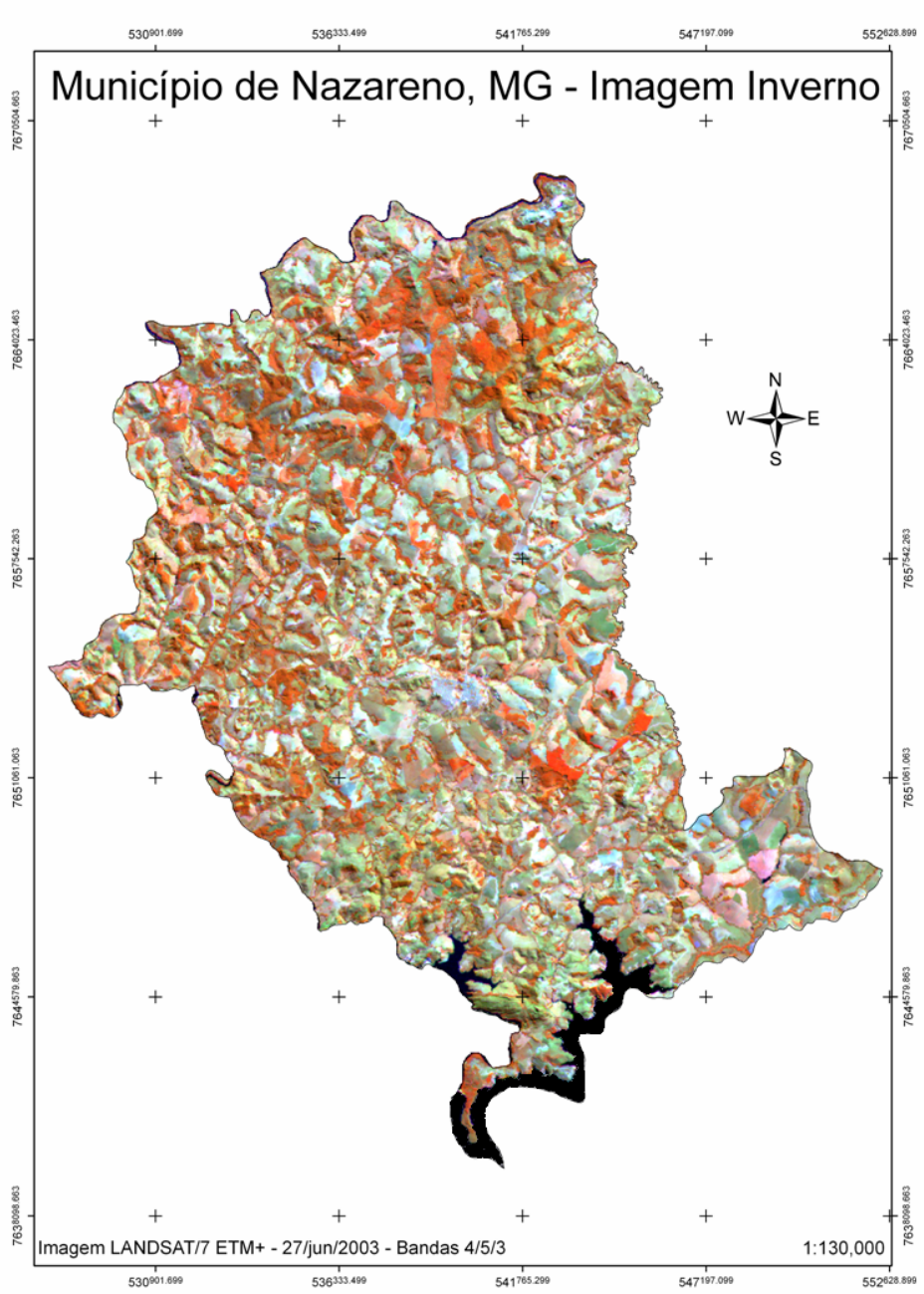


FIGURA 4 - Imagem LANDSAT/7 - ETM + - Município de Nazareno, data de passagem 27 de junho de 2003 (imagem inverno).

O modelo polinomial de primeiro grau foi usado para calcular os coeficientes de deformação da imagem. O procedimento de reamostragem por interpretação bilinear, no qual o valor de um pixel da imagem, antes do registro, é definido com base no valor dos quatro pixels vizinhos, foi utilizado para a reamostragem do novo valor dos pixels (Mather, 1999). O erro médio quadrático (RMS) foi calculado para finalizar o registro da imagem. Esse erro representa uma medida de ajuste do modelo de transformação e é estimado pela diferença existente entre as amostras dos dados calculados com relação aos dados originais, elevado ao quadrado e somado. Divide-se essa soma pelo número de medidas e obtêm-se a média, da qual a raiz quadrada fornece uma medida de erro na mesma unidade das medidas originais. Para que o registro esteja coerente é necessário que o erro RMS esteja abaixo de 0,5. A fórmula utilizada para calcular o erro RMS é apresentada a seguir (Sulsoft, 2004):

$$\text{RMS}_{\text{erro}} = \left[ (X_1 - X_{\text{org}})^2 + (Y_1 - Y_{\text{org}})^2 \right]^{1/2}$$

Em que:

$X_1$  - coordenada de linha calculada na imagem não-registrada;

$X_{\text{org}}$  - coordenada original de linha do ponto de controle na imagem original;

$Y_1$  - coordenada de linha calculada na imagem não-registrada;

$Y_{\text{org}}$  - coordenada original de linha do ponto de controle na imagem original.

### **3.3.5 Classificação da ocupação dos solos**

As classificações temáticas da ocupação dos solos foram geradas aplicando-se uma classificação digital supervisionada, desenvolvida em função do conhecimento prévio de áreas amostrais obtido nos trabalhos de campo. Esse

pré-conhecimento permitiu a seleção de áreas de treinamento confiáveis, ou seja, em acordo com a realidade municipal. O algoritmo definido para a realização das classificações foi o método de máxima verossimilhança, tendo em vista que o mesmo é muito utilizado apresentando bom desempenho em classificações (Costa, 2004; Figueiredo, 2005; Sousa Junior, 2005). As classes temáticas foram estabelecidas de acordo com a realidade local e com os dados disponíveis.

Foram coletadas amostras de treinamento e, posteriormente, amostras de áreas controle (acurácia). As áreas controles foram alocadas dentro de cada uma das classes identificadas e então, classificadas. Foram levantadas coordenadas referenciadas dessas áreas controle, as quais foram inseridas no GPS. Em campo, o GPS auxiliou na identificação dessas áreas que permitiram a checagem da “veracidade de campo”. As informações coletadas foram inseridas e analisadas usando os índices de acurácia global e o índice Kappa.

Para que fossem quantificadas as classes de ocupação dos solos, então definidas, foi realizado o cálculo das áreas a partir da contagem do número de pixels classificados em cada um dos temas (classes de ocupação do solo), considerando-se a resolução espacial de 30 m.

### ***3.3.6 Avaliação da exatidão das classificações***

Para a avaliação da exatidão das classificações, observando-se a concordância entre a verdade de campo e o mapa temático obtido através de métodos de classificação, utilizou-se a matriz de confusão (ou matriz de erro). Para que esta matriz seja confiável é necessário que a coleta de amostras das classes seja realizada de forma aleatória (Congalton & Green, 1999). Através dessa matriz, são observados os erros de omissão que ocorrem quando o percentual dos pixels da amostra de acurácia que pertencem a uma classe determinada é atribuído à outra classe; e os erros de inclusão que trata do

percentual dos pixels da classificação que não pertencem à classe a qual foram incluídos. A matriz de confusão é útil para avaliar as variações entre a imagem classificada e a verdade de campo (Antunes & Lingnau, 2005), sendo largamente usada em classificações multiespectrais por métodos convencionais (Congalton & Green, 1999). Através da matriz de erro é possível obter o coeficiente Kappa, introduzido por Cohen em 1960 (Oliveira, 2004; Dutra, 2005).

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

Em que:

K - coeficiente de concordância Kappa;

P<sub>o</sub> - exatidão global;

P<sub>c</sub> - proporção de unidades que concordam por casualidade.

Ao ser comparado ao cálculo de exatidão global, o coeficiente Kappa possui a vantagem de incluir em seus cálculos todos os elementos da matriz de erro além dos elementos da diagonal principal. O coeficiente Kappa (Tabela 2) é avaliado qualitativamente com base nos valores definidos por Landis & Koch (1977).

A separação estatística entre as categorias de padrões espectrais foi medida e computada para todos os pares de classes temáticas. Utilizou-se, para avaliar a separabilidade espectral entre as classes temáticas, a medida de distância Jeffries-Matusita, a qual aponta a existência de uma relação inversa entre a separabilidade estatística e a probabilidade de erro.

TABELA 2 - Avaliação qualitativa do coeficiente Kappa de acordo com Landis & Koch (1977).

<b>Valor</b>	<b>Coeficiente Kappa qualitativo</b>
<0,0	Péssima
0,0 - 0,2	Ruim
0,2 - 0,4	Razoável
0,4 - 0,6	Boa
0,6 - 0,8	Muito boa
0,8 - 1,0	Excelente

A idéia geral é a de que quanto maior for a distância estatística existente entre as amostras de treinamento, maior será a probabilidade das classes terem sido corretamente classificadas. A medida de distância Jeffries-Matusita apresenta-se útil para situações onde estejam envolvidas múltiplas classes, podendo-se considerá-la uma boa forma de avaliar a precisão da classificação (Lillesand & Kiefer, 2000; Tso & Mather, 2001; Figueiredo, 2005). Os valores dessa medida de distância variam entre 0 a 2 e demonstram a separação estatística existente entre as amostras de pares de classes temáticas. Valores acima de 1,9 denotam uma boa separabilidade entre as amostras e valores abaixo desse indicam similaridade (Sulsoft, 2004).

### **3.3.7 Estudo de voçorocas em imagens LANDSAT**

Para avaliar a possibilidade de se estudar voçorocas através de imagens LANDSAT, foram inseridos, nas imagens já classificadas, 25 pontos coletados em voçorocas por Ferreira (2005). Esses pontos foram analisados de acordo com a classe temática em que os mesmos ocorreram.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Altitude, declividade e solos

A altitude no município de Nazareno varia entre 839 e 1140 m (Figura 05). As áreas de menores elevações situam-se a oeste e se relacionam às áreas das várzeas do Rio Grande. As maiores elevações estão situadas a nordeste, na Serra Negra.

A partir dos dados de declividade (Tabela 3), a maior parte (43,5%) do município está inserida na classe que varia de 8 - 20%, ou seja, relevo ondulado. Na seqüência tem-se o relevo plano (26,5%), o forte ondulado (16,1%) e o suave ondulado (13,5%). A unidade de relevo montanhoso cobre 0,37% da área.

TABELA 3 - Classes de declividade com o tipo do relevo e a área correspondente ocupada no município de Nazareno para cada classe.

<b>Classes de declividade (%)</b>	<b>Relevo</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área (%)</b>
0 - 3	Plano	86,93	26,5
3 - 8	Suave ondulado	44,41	13,54
8 - 20	Ondulado	142,67	43,5
20 - 45	Forte ondulado	52,78	16,1
45 - 75	Montanhoso	1,22	0,37

Assim como a altitude, a declividade também possui seus valores mais elevados (área de relevo montanhoso) a nordeste. As áreas planas encontram-se mais bem distribuídas no município considerando que nessas áreas inserem-se, além das áreas de várzea, os topos de morros (Figura 6).

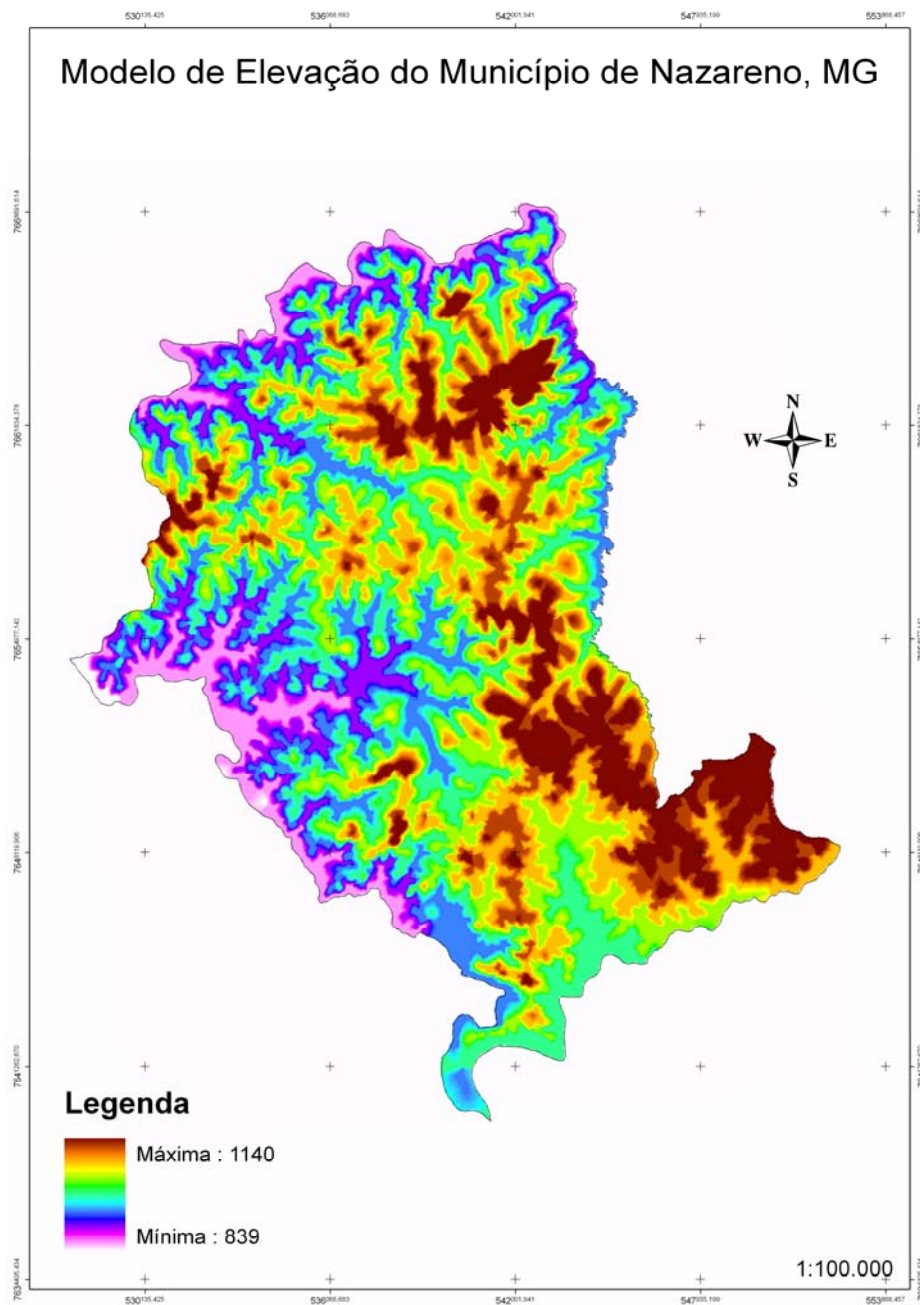


FIGURA 5 - Modelo digital de elevação - município de Nazareno, MG.

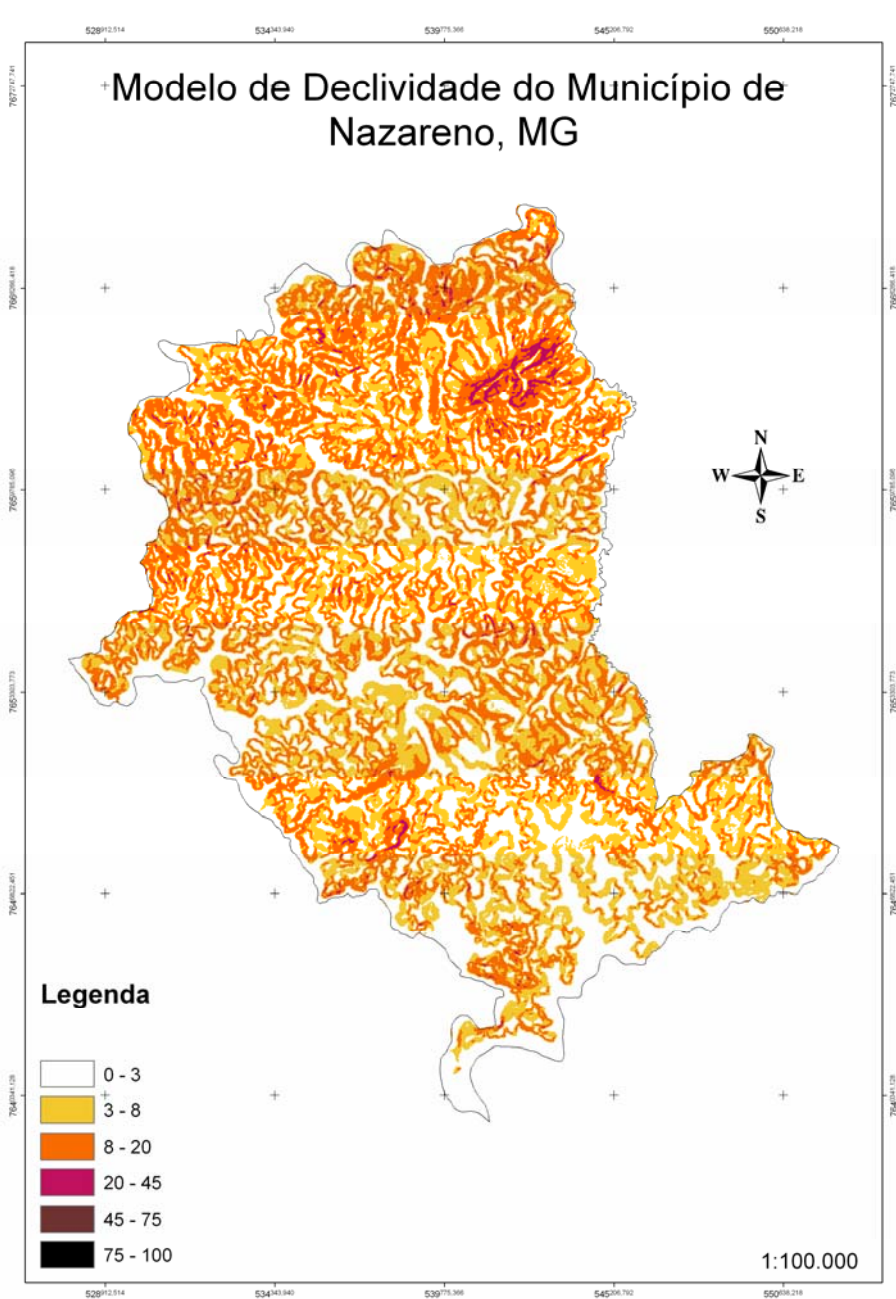


FIGURA 6 - Modelo digital de declividade - município de Nazareno, MG.



Por sua vez, o mapa de solos do município de Nazareno (Figura 7) destacou cinco unidades de mapeamento e, nessas estão inseridas sete classes de solos e uma de afloramento rochoso (Tabelas 4 e 5). As classes de solo encontradas serão descritas seqüencialmente.

TABELA 4 - Descrição de cada classe de solo encontrada em Nazareno, MG.

<b>Classe</b>	<b>Descrição</b>
LVAd	Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico, argiloso a muito argiloso, A moderado
LVdf	Latossolo Vermelho Distroférrico húmico e típico, muito argiloso, A moderado e A húmico álico
LVd	Latossolo Vermelho Distrófico típico, argiloso a muito argiloso, A moderado
CXbd	Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico, argiloso, A moderado álico
GXbd	Gleissolo Háptico Tb distrófico
Rubd	Neossolo Flúvico Tb distrófico
RLd	Neossolo Litólico distrófico típico
AR	Afloramento Rochoso

TABELA 5 - Descrição das unidades de mapeamento de solos encontradas em Nazareno, MG.

<b>Unidades</b>	<b>Classes e percentuais que as compõem</b>
CXbd01	80% CXbd + 10% RLd + 10% AR
CXbd02	75% CXbd + 25% LVAd
GXbd	GXbd e Rubd indiscriminados
LVAd	50% LVAd + 35% CXbd + 25% LVd
LVdf	50% LVdf + 25% CXbd + 25% LVAd

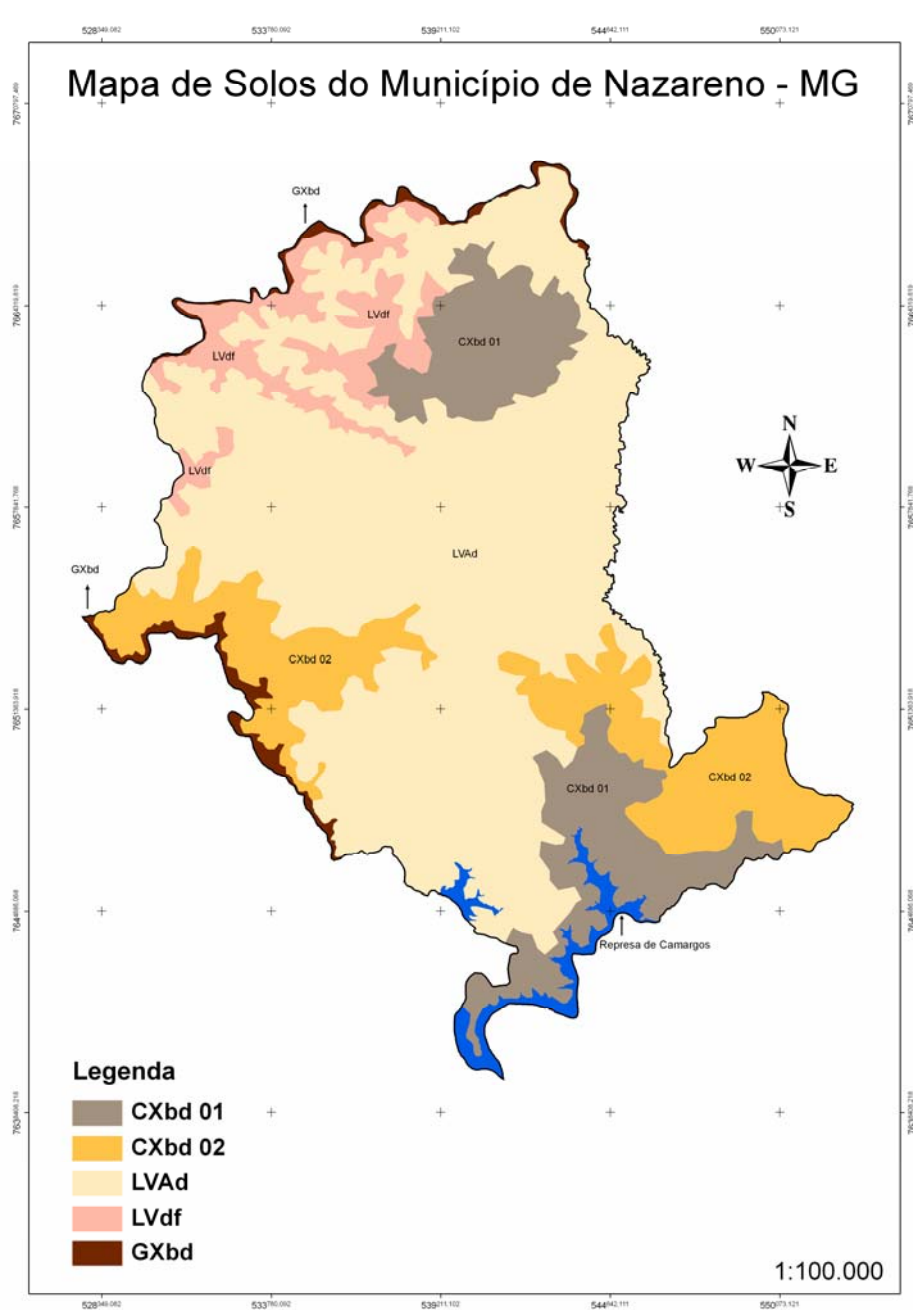


FIGURA 7 - Mapa de solos do município de Nazareno, MG.

#### 4.1.1 Descrição das classes de solos de Nazareno, MG

- **LVAd (Latosolo Vermelho-Amarelo)** (Figura 8a): Os valores encontrados nas análises químicas (Tabela 6), no horizonte A ( $V = 18,3\%$ ) e no Bw ( $V = 27,8\%$ ), determinam solos distróficos, concordando com a classificação encontrada por Ferreira (2005) para o município. O resultado da análise granulométrica (Tabela 7) denota solos argilosos ( $430 \text{ g.kg}^{-1}$  horizonte A e  $470 \text{ g.kg}^{-1}$  horizonte Bw). Os valores encontrados por Ferreira (2005), por sua vez, demonstram a presença de LVAs também com textura muito argilosa. Como os valores do Kr para os dois horizontes são superiores a 0,75 ( $A = 1,03$  e  $Bw = 1,06$ ) e de Ki inferiores a 2,2 ( $A = 1,40$  e  $Bw = 1,42$ ) esse solo é considerado alítico e possui baixos teores de  $\text{SiO}_2$  e teores mais elevados de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (Tabela 8) é um solo muito intemperizado. O horizonte A moderado com baixos teores de matéria orgânica (MO) ( $25 \text{ g.kg}^{-1}$ ) (Tabela 6).

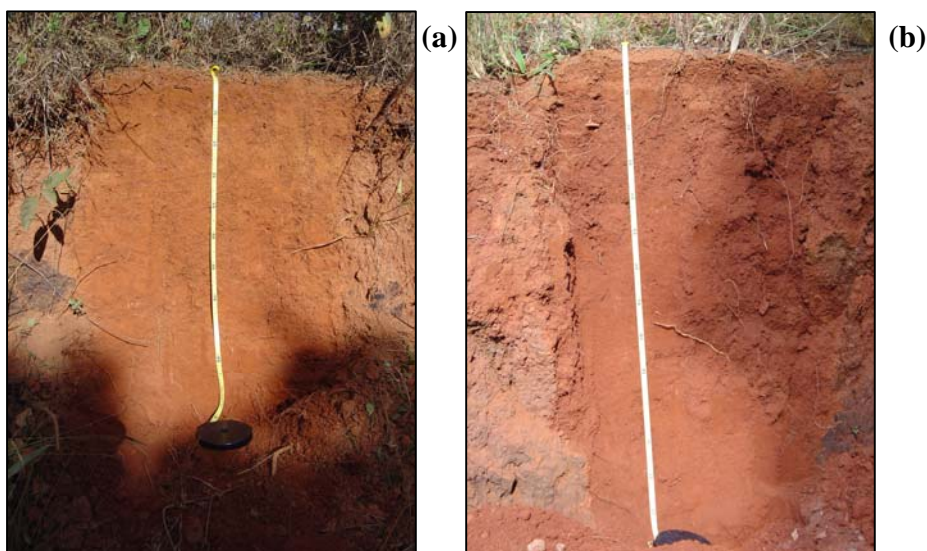


FIGURA 8 - Perfil de LVAd (a); LVdf (b) e CXbd (c). (Continua...)

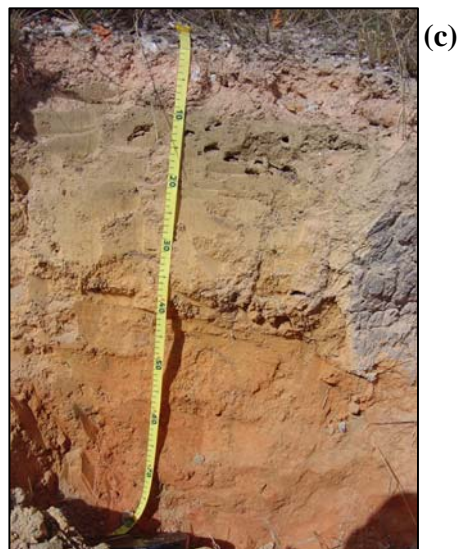


FIGURA 8 - Continuação...

TABELA 6 - Atributos químicos do LVA do município de Nazareno, MG.

<b>Latossolo Vermelho-Amarelo</b>			
<b>Atributo</b>		<b>Horizonte</b>	
		<b>A</b>	<b>B</b>
Profundidade	(cm)	0 - 30	120 - 140
pH	(H <sub>2</sub> O)	5,5	6,0
P	(mg/dm <sup>3</sup> )	0,4	0,6
K	(mg/dm <sup>3</sup> )	20	11
Ca <sup>2+</sup>	(cmol/dm <sup>3</sup> )	0,4	0,5
Mg <sup>2+</sup>	(cmol/dm <sup>3</sup> )	0,2	0,2
Al <sup>3+</sup>	(cmol/dm <sup>3</sup> )	0,3	0
H <sup>+</sup> Al	(cmol/dm <sup>3</sup> )	2,9	1,9
SB	(cmol/dm <sup>3</sup> )	0,7	0,7
(t)	(cmol/dm <sup>3</sup> )	1,0	0,7
(T)	(cmol/dm <sup>3</sup> )	3,6	2,6
V	(%)	18,3	27,8
m	(%)	32	0
MO	(g.kg <sup>-1</sup> )	25	13

TABELA 7 - Análise granulométrica do LVA do município de Nazareno, MG.

<b>Latossolo Vermelho-Amarelo</b>				
<b>Horizonte</b>	<b>Areia</b>	<b>Silte</b> g.kg <sup>-1</sup>	<b>Argila</b>	<b>Classe Textural</b>
A	400	170	430	Argilosa
B	360	170	470	Argilosa

TABELA 8 - Atributos da análise de ataque sulfúrico do LVA amostrado em Nazareno, MG.

<b>Latossolo Vermelho-Amarelo</b>								
<b>Horizonte</b>	<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> g.kg <sup>-1</sup>	<b>TiO<sub>2</sub></b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<b>Ki</b>	<b>Kr</b>	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>
A	144,9	175,4	98,3	18,8	0,4	1,40	1,03	2,81
B	172,4	206,4	111,3	20,3	0,4	1,42	1,06	2,91

- LVdf (Latossolo Vermelho)** (Figura 8b): Este é um caso específico de LV, o qual possui um elevado teor de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (LVdf) (Tabela 11) tanto no horizonte A (186,2 g.kg<sup>-1</sup>), quanto no Bw (199,3 g.kg<sup>-1</sup>), além do valor de V estar abaixo de 50% em ambos os horizontes (9,3 e 16,4%, respectivamente) (Tabela 9). O elevado teor de ferro confere a este solo suas características distroféricas. É um solo muito argiloso com teores de argila de 680 g.kg<sup>-1</sup> em ambos os horizontes (Tabela 10). Possui o horizonte A húmico álico e baixos valores de Ki (horizontes A e B, respectivamente 0,90 e 0,79) e de Kr (0,63 e 0,56, respectivamente) os quais denotam um solo ferralítico, ou seja, com pouca presença de SiO<sub>2</sub> e teores elevados de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, muito intemperizado (Tabela 11). Esses índices fortalecem a característica distroférica do referido solo e álico do horizonte A do mesmo. O LVdf encontra-se localizado na parte norte de Nazareno, MG.

TABELA 9 - Atributos químicos do LVdf analisado em Nazareno, MG.

		<b>Latossolo Vermelho</b>	
<b>Atributo</b>		<b>Horizonte</b>	
		<b>A</b>	<b>B</b>
Profundidade	(cm)	18	120 - 140
pH	(H <sub>2</sub> O)	5	5,4
P	(mg/dm <sup>3</sup> )	0,6	0,6
K	(mg/dm <sup>3</sup> )	42	5
Ca <sup>2+</sup>	(cmol/dm <sup>3</sup> )	0,5	0,4
Mg <sup>2+</sup>	(cmol/dm <sup>3</sup> )	0,2	0,1
Al <sup>3+</sup>	(cmol/dm <sup>3</sup> )	0,9	0
H <sup>+</sup> Al	(cmol/dm <sup>3</sup> )	7,9	2,6
SB	(cmol/dm <sup>3</sup> )	0,8	0,5
(t)	(cmol/dm <sup>3</sup> )	1,7	0,5
(T)	(cmol/dm <sup>3</sup> )	8,7	3,1
V	(%)	9,3	16,4
m	(%)	53	0
MO	(g.kg <sup>-1</sup> )	490	130

TABELA 10 - Análise granulométrica do LVdf analisado em Nazareno, MG.

<b>Latossolo Vermelho</b>				
<b>Horizonte</b>	<b>Areia</b>	<b>Silte</b>	<b>Argila</b>	<b>Classe Textural</b>
	g.kg <sup>-1</sup>			
A	140	180	680	Muito Argilosa
B	110	210	680	Muito Argilosa

TABELA 11 - Atributos da análise de ataque sulfúrico do LVdf amostrado em Nazareno, MG.

<b>Latossolo Vermelho</b>								
<b>Horizonte</b>	<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>TiO<sub>2</sub></b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<b>Ki</b>	<b>Kr</b>	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>
	g.kg <sup>-1</sup>							
A	149	281,8	186,2	37,6	0,9	0,9	0,63	2,38
B	140,6	300,8	199,3	38,7	0,8	0,79	0,56	2,37

- **LVd (Latossolo Vermelho):** Essa classe de LV foi encontrada por Ferreira (2005) na unidade aqui mapeada, sendo denominada de LVAd. É distrófico e possui em todas as amostras coletadas valores de V abaixo de 50%. Apresenta textura argilosa e muito argilosa com os teores de argila variando entre 550 g.kg<sup>-1</sup> e 730 g.kg<sup>-1</sup> (Tabela 12). O horizonte A é moderado.

Os Latossolos Vermelho-Amarelo (Figura 8a) estão distribuídos mais uniformemente no município, e os Latossolos Vermelhos (Figura 8b) ocorrem em relevo predominantemente suave-ondulado e ondulado, com pendentes mais longas, sendo que os Latossolos Vermelhos são mais profundos que os Vermelho-Amarelos (Carvalho et al., 1994). Proporcionalmente, observa-se maior presença de pastagens nos Latossolos Vermelho-Amarelo e de culturas nos Latossolos Vermelhos. Os Latossolos Vermelhos distroféricos predominam na parte norte do município onde as formações florestais são mais freqüentes.

TABELA 12 - Resultados das análises realizadas por Ferreira (2005) dados percentuais de V e de argila.

<b>LVd</b>				
<b>Perfil</b>	<b>Horizonte</b>	<b>Profundidade</b>	<b>V</b>	<b>Argila</b>
			<b>%</b>	<b>g.kg<sup>-1</sup></b>
1	A	0-20	26,7	550
	B	120-160	45,3	650
2	A	0-20	20,3	570
	B	90-120	37,8	610
3	A	0-20	35	680
	B	60-90	18,6	730
4	A	0-20	31,5	560
	B	50-80	31,7	560
5	A	0-20	15,9	700
	B	100-130	35,1	720
6	A	0-20	15	550
	B	70-100	23,8	610

- CXbd (Cambissolo)** (Figura 8c): Os Cambissolos em Nazareno, MG, possuem argila de baixa atividade (Tb), os valores V estão abaixo de 50% (Horizonte A = 19,0; Horizonte Bi = 23,1 e Horizonte C = 26,7) (Tabela 13). O resultado das análises granulométricas realizadas para este solo (Tabela 14) o classifica da seguinte forma: horizonte A, textura média (350 g.kg<sup>-1</sup>) e o Bi e o C, argilosa (370 g.kg<sup>-1</sup> e 390 g.kg<sup>-1</sup>, respectivamente), corroborando com os valores texturais encontrados por Ferreira (2005), cujos resultados foram próximos dos aqui encontrados. Os valores de Kr encontrados para esse solo (A = 1,19; Bi = 1,07 e C = 1,18), superiores a 0,75, e de Ki (A = 1,29; Bi = 1,15 e C = 1,26), o tornam alíticos, possuindo baixos teores de SiO<sub>2</sub> e teores mais elevados de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Tabela 15). O horizonte A é moderado e álico, possui baixo índice de saturação por bases (19,0%), elevado índice de saturação por Al (69%) e apresenta pequena espessura (20 cm) (Tabela 13).

TABELA 13 - Atributos químicos do Cambissolo analisado em Nazareno, MG.

		<b>Cambissolo</b>		
<b>Atributo</b>		<b>Horizonte</b>		
		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
Profundidade	(cm)	0 - 20	20 - 35	35+
pH	(H <sub>2</sub> O)	5,3	5,4	6,1
P	(mg/dm <sup>3</sup> )	0,9	0,6	0,4
K	(mg/dm <sup>3</sup> )	20	12	6
Ca <sup>2+</sup>	(cmol/dm <sup>3</sup> )	0,5	0,4	0,4
Mg <sup>2+</sup>	(cmol/dm <sup>3</sup> )	0,2	0,2	0,2
Al <sup>3+</sup>	(cmol/dm <sup>3</sup> )	1,7	0,3	0,2
H+Al	(cmol/dm <sup>3</sup> )	3,2	2,1	1,7
SB	(cmol/dm <sup>3</sup> )	0,8	0,6	0,6
(t)	(cmol/dm <sup>3</sup> )	2,5	0,9	0,8
(T)	(cmol/dm <sup>3</sup> )	4	2,7	2,3
V	(%)	19	23,1	26,7
m	(%)	69	32	24
MO	(g.kg <sup>-1</sup> )	24	18	15



TABELA 14 - Análise granulométrica do Cambissolo analisado em Nazareno, MG.

<b>Cambissolo</b>				
<b>Horizonte</b>	<b>Areia</b>	<b>Silte</b> g.kg <sup>-1</sup>	<b>Argila</b>	<b>Classe Textural</b>
A	500	150	350	Textura Média
B	420	210	370	Argilosa
C	350	260	390	Argilosa

TABELA 15 - Atributos da análise de ataque sulfúrico do Cambissolo amostrado em Nazareno, MG.

<b>Cambissolo</b>								
<b>Horizonte</b>	<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>TiO<sub>2</sub></b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<b>Ki</b>	<b>Kr</b>	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>
	g.kg <sup>-1</sup>							
A	142,1	187,6	23,2	6,0	0,1	1,29	1,19	12,71
B	169,3	251,2	28,1	6,6	0,1	1,15	1,07	14,01
C	207,3	278,9	31,1	6,6	0,1	1,26	1,18	14,08

Os Cambissolos (Figura 8c) predominam principalmente ao sul do município. À medida que se aproxima da Represa de Itutinga/Camargos, observa-se um aumento da contribuição de rochas pelíticas e de quartzito sobre o granito-gnaiss, fator que colabora, geralmente, para a presença de solos mais pobres, rasos e de maior potencial erosivo. Associada a essas áreas, observa-se a presença de vegetação com características campestres. Os Cambissolos ocorrem em relevo mais movimentado, ondulado e forte-ondulado e são mais rasos quando comparados aos Latossolos e muito erodidos. São solos de baixa permeabilidade podendo ser ainda pedregosos (Carvalho et al., 1994).

Uma prática comum utilizada na região é a queima das pastagens nativas, fato este que expõe ainda mais esses solos no início das chuvas, fazendo com que eles tenham sérios problemas de erosão, corroborando com os estudos

de Carvalho et al. (1994), segundo os quais neste tipo de paisagem o número de voçorocas é elevado. Nesses solos os principais fatores limitantes à produção agrícola referem-se à extrema pobreza química e à elevada susceptibilidade natural à erosão dos Cambissolos (Curi, 1991; Ferreira, 2005).

- **GXbd (Gleissolo):** São solos minerais, hidromórficos, possuem horizonte A ou H e um horizonte gleizado que, se precedido pelo H, começa a menos de 40 cm da superfície. São solos de mal a muito mal drenados e desenvolvem-se em várzeas e planícies aluviais. Apresenta como seqüência de horizontes A-(ou Ag)-Cg ou A-(ou Ag)-Big-Cg. Podem ser solos com argila de alta ou de baixa atividade, baixa saturação por bases e elevados teores de Al. As características desses solos serão determinadas pelas fontes dos materiais erodidos das áreas adjacentes e pelas águas de drenagem, uma vez que eles se localizam nas áreas mais baixas do relevo (Figuras 2 e 4) as quais são locais de recepção ou de trânsito de materiais transportados (Oliveira et al.; 1992). No presente caso esses solos possuem argila de baixa atividade e baixo valor de saturação por bases, assim como os solos situados nas áreas adjacentes.
- **RUbd (Neossolos Aluviais):** São provenientes de depósitos aluviais recentes de origem fluvial. São solos não hidromórficos, pouco evoluídos e caracteristicamente variam muito em pequenas distâncias, tanto horizontal como verticalmente. Normalmente apresentam um horizonte A mais escurecido, o qual é o único horizonte diagnóstico, sobre camadas estratificadas que não possuem relação pedogenética entre si. Desenvolvem-se somente em planícies aluvionais, ou seja, relevos aproximadamente planos, e são, geralmente os solos mais ricos da paisagem (Oliveira et al.; 1992 e Resende et al., 2002). Esses solos das planícies fluviais de Nazareno

comumente têm presença de argilas de baixa atividade, assim como um valor de V abaixo de 50%.

- **RLd (Neossolos Litólicos):** São solos minerais, não hidromórficos, pouco evoluídos, rasos (< 50 cm). São encontrados em áreas de topografia acidentada, com um horizonte A sobre a rocha coerente e dura ou cascalheira e espessa (A-R) ou sobre um horizonte C ou Cr pouco espesso, podendo ser encontrado também um Bi muito delgado. Esses solos são freqüentes onde ocorrem muitos afloramentos de rochas. Contêm teores elevados de minerais primários pouco resistentes ao intemperismo, além de blocos de rocha semi-intemperizados de tamanhos diversificados. Estão presentes em áreas de intensa remoção de material e podem ser eutróficos, distróficos ou álicos, característica que irá depender da rocha de origem e das condições climáticas (Oliveira et al.; 1992 e Resende et al., 2002). No município mapeado, esses solos são distróficos, pois possuem um material de origem pobre e, conseqüentemente, um valor de saturação por bases abaixo de 50%.

#### ***4.1.2 Área das unidades de mapeamento de solos relacionadas à elevação e declividade***

Dentre as cinco unidades de mapeamento definidas para Nazareno (Figura 7), houve predominância da unidade denominada LVAd (58%), formada por 50% de LVAd, 35% de CXbd e 15% de LVd. Sequencialmente têm-se as unidades CXbd02 (16%) com 75% de CXbd e 25% de LVAd; e CXbd01 (15%) com 80% de CXbd, 10% de RLd e 10% de AR. A unidade LVdf (7%) formada por 50% de LVdf, 25% de CXbd e 25% de LVAd, que ocorre na parte norte do município. A unidade GXbd é a que ocupa a menor área em Nazareno (2%),

sendo formada por GXbd e RUBd indiscriminados (Figura 9, Tabela 16). De acordo com o mapeamento realizado o município possui 2% de lâmina d'água.

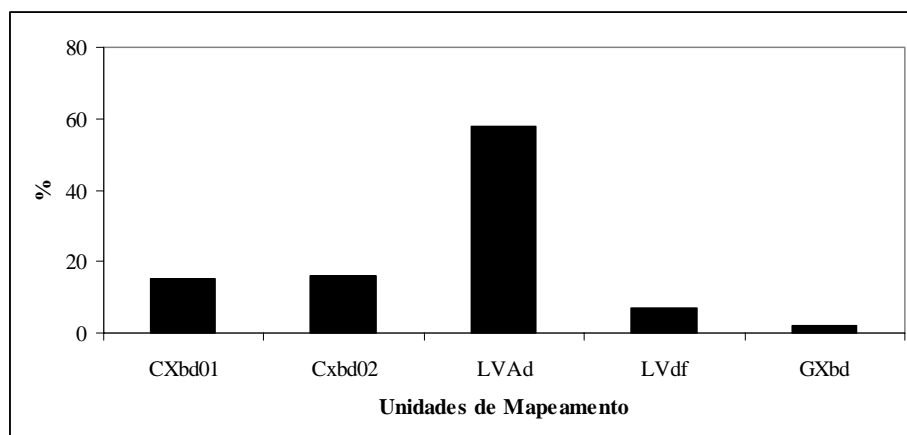


FIGURA 9 - Percentual da área ocupada pelas unidades de mapeamento no município de Nazareno, MG.

TABELA 16 - Área ocupada pelas unidades de solos, mapeadas no município de Nazareno, MG.

Unidade	Área ocupada pelas unidades	
	km <sup>2</sup>	%
CXbd01	49,01	15
CXbd02	52,7	16
LVdf	21,52	7
LVAd	191,71	58
GXbd	6,53	2

As unidades de mapeamentos definidas são formadas por associações de classes de solos (unidades taxonômicas). Este procedimento, por vezes, dificulta a compreensão das mesmas com base nos dados utilizados (elevação e altitude),

uma vez que, praticamente em todas as unidades ocorrem as mesmas classes de solos com variações significativas em seus percentuais.

Ao se analisar as Tabelas 17 e 18 tornam-se claras algumas correlações entre as unidades mapeadas e os valores mínimos e máximos de elevação e declividade para cada uma delas. Observa-se que as unidades dominadas por CXbd (CXbd01 e CXbd02) possuem as maiores máximas de altitude (1140 m e 1089 m, respectivamente) assim como a CXbd02 possui a máxima das mínimas altitudes (955 m) sendo a mínima do CXbd01 a segunda maior (883 m). Tais valores coincidem com os dados de declividade uma vez que as maiores máximas ocorrem exatamente nessas duas unidades (65 e 59%, respectivamente). E, esses valores corroboram com o trabalho de Resende et al., (2002) no qual afirmam que os Cambissolos são freqüentes nas áreas de relevos mais jovens e, conseqüentemente, mais movimentados da paisagem.

Nas unidades dominadas por Latossolos, esperavam-se valores de declividade menores, pois os mesmos usualmente ocorrem em relevos mais planos. Mas, ao levar-se em consideração de que se trata de unidades (que contêm outras classes de solos), os valores encontrados tornam-se coerentes. Dentre essas unidades de solos, os valores de altitude variaram pouco entre elas, tendo sido determinada para a LVdf (858 a 1020 m) e a LVAd (857 a 1044 m) uma variação entre as máximas de cerca de 25 m. Dentre os Latossolos, com relação à declividade, a unidade LVAd possui a máxima mais elevada (58%) seguida da LVdf (52%).

As áreas dominadas pela unidade GXbd possuem, dentre todas, os menores valores de altitude (839 a 880 m) e as menores declividades (39%). Esses dados são compreendidos ao se observar que os solos da referida unidade ocorrem, especificamente, nas áreas de várzeas do município. Concordando com Resende et al. (2002) que afirmam que tais classes apresentam, geralmente,

topografia plana e são comuns em terrenos baixos ou em terços inferiores de encostas pouco declivosas.

Para os valores de média e desvio padrão de elevação por cada unidade mapeada (Tabela 17), observa-se que a variação entre as médias é pequena. Entretanto, há uma considerável diferença na variabilidade dos valores de declividade dentro de cada unidade de mapeamento captada por meio do desvio padrão. Seu maior valor (38,7 m) foi encontrado para a unidade CXbd01, onde a diferença de altitude registrada para a classe foi de 257 m. O segundo maior valor de desvio padrão foi encontrado na unidade LVAd (28,8 m). Fato que pode ser compreendido devido à mesma ser a unidade de maior extensão no município (193,34 km<sup>2</sup>) e apresentar, também, a segunda maior diferença entre os valores de altitude máximos e mínimos (187 m). A unidade LVdf possui o terceiro maior valor para o desvio padrão (24,9 m), e para a variação entre a máxima e a mínima (162 m).

O menor valor de desvio padrão de elevação encontrado foi para a unidade GXbd (7,4 m) o que é compreendido porque nesta unidade ocorreu a menor variação entre os valores de elevação e a menor diferença entre a altitude máxima e mínima (41 m). Constituindo-se nas áreas mais planas do relevo.

TABELA 17 - Unidades de mapeamento e suas correspondentes altitudes - mínima, máxima, média e desvio padrão e variação entre mínima e máxima para o município de Nazareno, MG.

Unidade de mapeamento	Altitude (m)				
	Mínima	Máxima	Varição entre a máx. e a mín.	Média	Desvio padrão
CXbd1	883	1140	257	978,6	38,7
CXbd2	955	1089	134	998,1	22,3
LVdf	858	1020	162	935,6	24,9
LVAd	857	1044	187	932,1	28,8
GXbd	839	880	41	856,8	7,4

TABELA 18 - Unidades de mapeamento e suas correspondentes declividades - mínima, máxima, média e desvio padrão para o município de Nazareno, MG.

Unidade de mapeamento	Declividade (%)			
	Mínima	Máxima	Média	Desvio padrão
CXbd1	< 3	65	16	12
CXbd2	< 3	59	10	8
LVdf	< 3	52	9	8
LVAd	< 3	58	12	9
GXbd	< 3	39	0,84	4

Ainda segundo a Tabela 18, todas as unidades de mapeamento possuem valores de declividade mínima, menores que 3%, ou seja, todas possuem áreas consideradas planas. E, à exceção da unidade GXbd, todas têm, pelo menos um pouco de relevo classificado como montanhoso (45% - 75%), o que se observa pelos valores máximos obtidos.

Considerando os valores de média e desvio padrão de declividade (Tabela 17), observa-se que a variação entre os desvios padrões é pequena apesar de ainda assim o maior valor (12%) ser encontrado para a unidade CXbd01 e o menor (4%) para a GXbd. Quanto à média, ocorre uma variação maior também entre as unidades CXbd01 (16%) e GXbd (0,84%). Os valores entre as unidades dominadas por Latossolos possuem pequenas variações entre si.

## 4.2 Ocupação dos solos

Para a realização das classificações de ocupação dos solos do município de Nazareno, foram identificadas 7 (sete) classes, definidas previamente para então serem amostradas, classificadas e aferidas por sua acurácia (Tabela 19).

TABELA 19 - Número de amostras de treinamento e de acurácia utilizadas nas classificações por máxima verossimilhança.

Imagem	Classe temática	Número de pixels das amostras	
		Treinamento	Acurácia
Verão	Vegetação arbórea	279	132
	Vegetação arbustiva	112	60
	Culturas	424	144
	Pastagens e campos naturais	249	164
	Solo exposto	469	132
	Área urbana	67	56
	Água	220	150
	<b>Total</b>	<b>1820</b>	<b>838</b>
Inverno	Vegetação arbórea	228	101
	Vegetação arbustiva	114	52
	Culturas	104	52
	Pastagens e campos naturais	232	142
	Solo exposto	257	101
	Área urbana	64	52
	Água	194	106
	<b>Total</b>	<b>1193</b>	<b>606</b>

A Figura 10 apresenta exemplos das classes de ocupação dos solos selecionadas para este trabalho segundo representações em campo, quais sejam: Vegetação Arbórea, Vegetação Arbustiva, Culturas, Pastagens e Campos Naturais, Solo Exposto, Área Urbana e Água. Os resultados das classificações realizadas são apresentados nas Figuras 11 e 12.



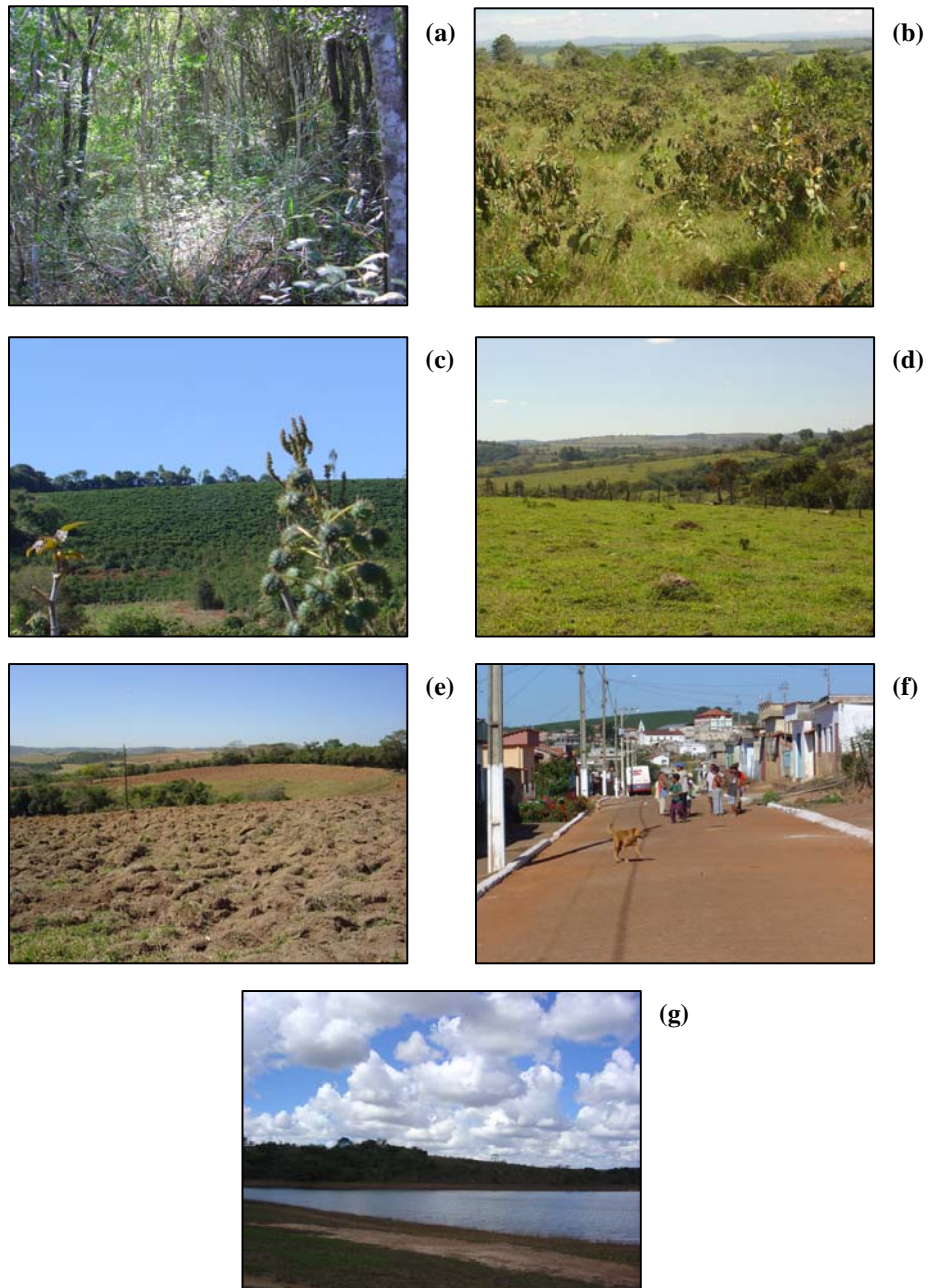


FIGURA 10 - Exemplos das classes utilizadas na classificação: vegetação arbórea (a), vegetação arbustiva (b), cultura (c), pastagens e campos naturais (d), solo exposto (e), área urbana (f) e água (g).

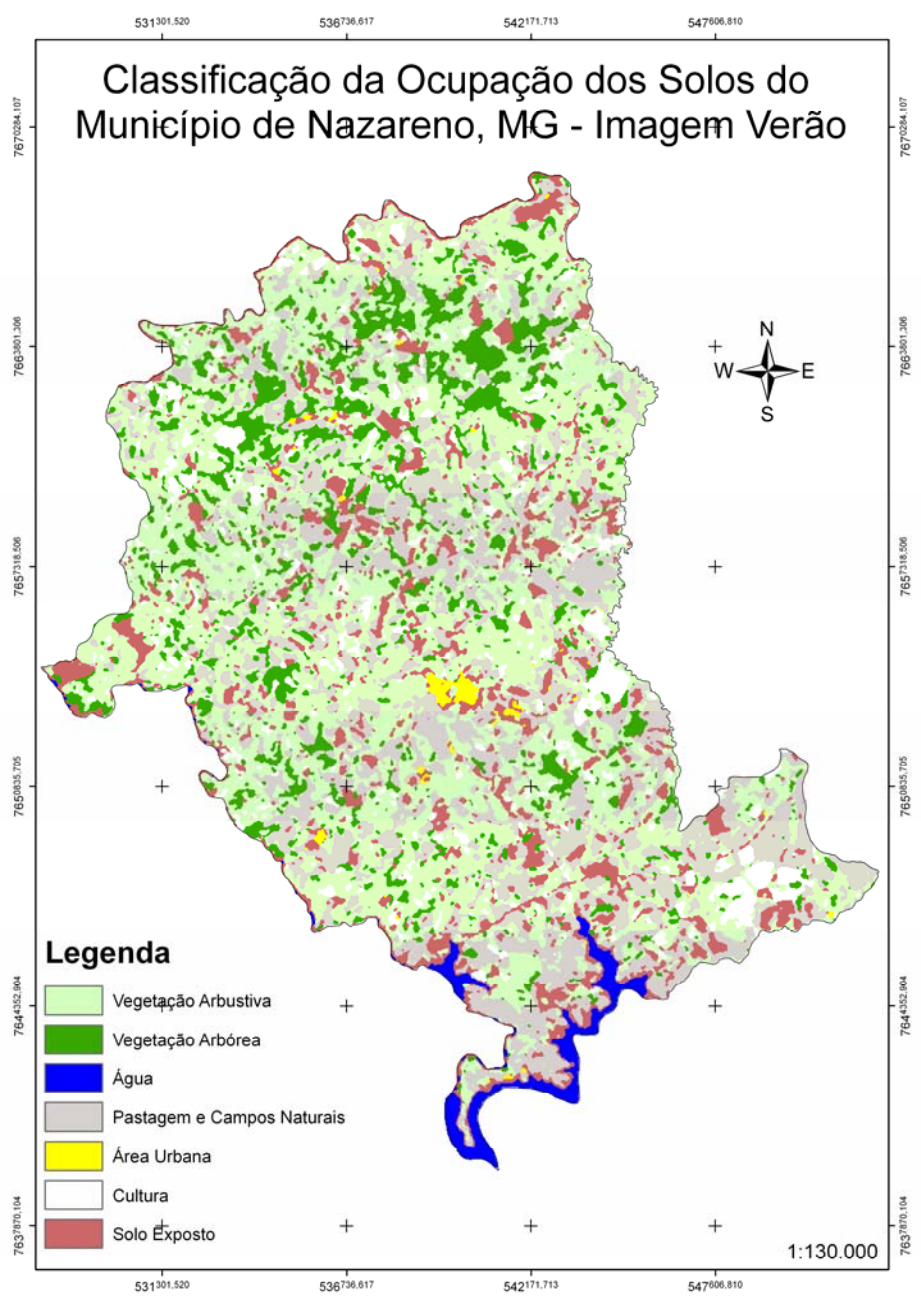


FIGURA 11 - Classificação de ocupação dos solos do município de Nazareno, MG - Imagem Verão.

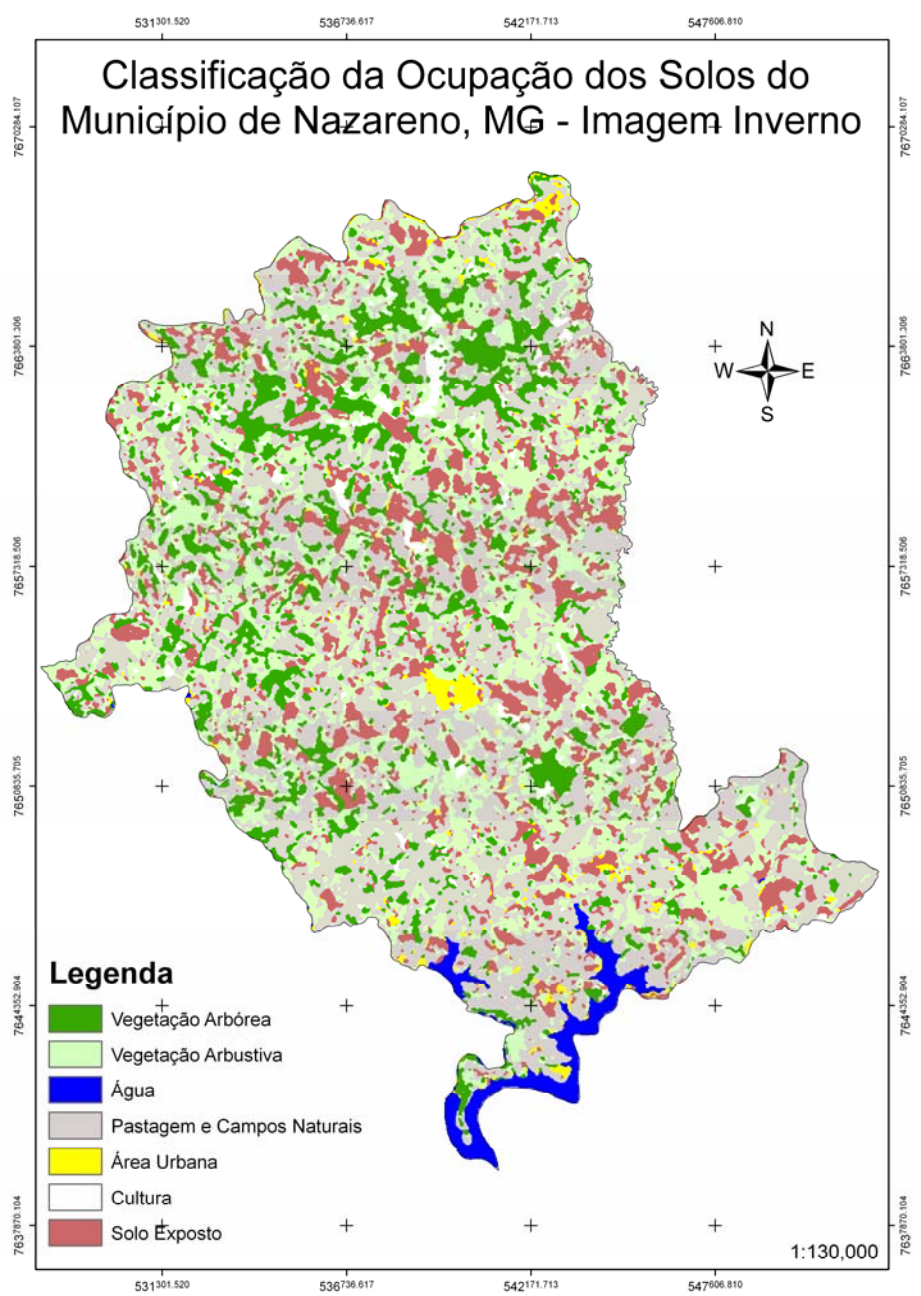


FIGURA 12 - Classificação de ocupação dos solos do município de Nazareno, MG - Imagem Inverno.

Após terem sido geradas as classificações de ocupação dos solos do município de Nazareno (imagem verão (Figura 11) e imagem inverno (Figura 12)), procurou-se estimar a área ocupada por cada uma das classes temáticas nos seus 328 km<sup>2</sup>.

#### **4.2.1 Imagem verão**

Na imagem verão observa-se (Figura 13) que a classe predominante no município é a de Vegetação Arbustiva (40,7%), seguida da classe de Pastagens e Campos Naturais (26,3%) enfatizando que muitas das pastagens estão degradadas como pôde ser observado nos trabalhos de campo. A classe de Vegetação Arbórea (12%) e a classe de Solo Exposto (11,6%) são, respectivamente, a terceira e a quarta maior em área. A vegetação arbórea refere-se principalmente a remanescentes localizados após a extensiva destruição à qual foi subjugada toda a Bacia do Alto Rio Grande. As classes de Culturas (7%), Água (1,7%) e Área Urbana (0,5%) são as que ocupam, seqüencialmente, as menores áreas no município.

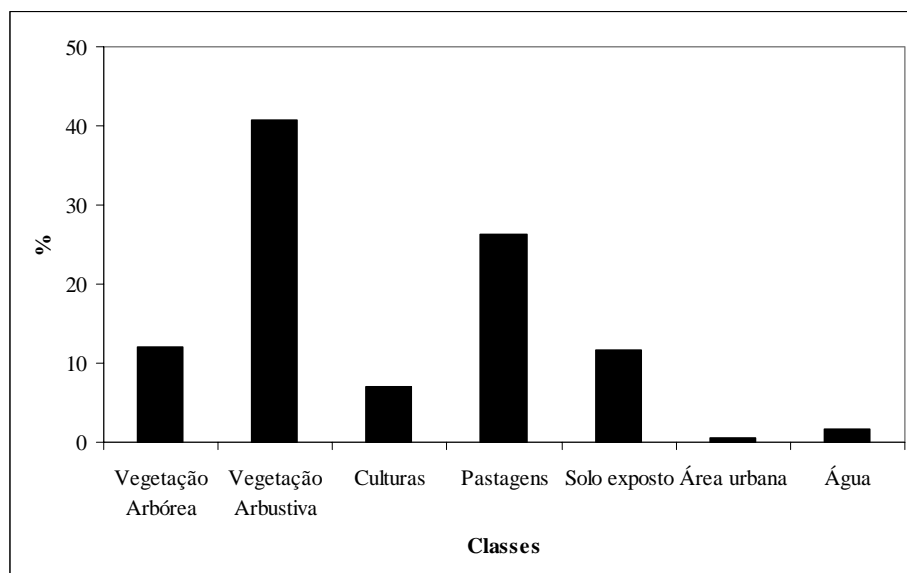


FIGURA 13 - Classes de ocupação dos solos do município de Nazareno, MG, em % - Imagem verão.

Observa-se (Tabela 20) que as classes Vegetação Arbustiva e Culturas, Vegetação Arbustiva e Pastagem, Área Urbana e Solo Exposto e, Vegetação Arbustiva e Vegetação Arbórea denotaram, na avaliação da separação estatística entre esses pares de classes temáticas valores inferiores a 1,9. Este fato aponta a existência de uma similaridade espectral entre as amostras, de acordo com a medida de distância Jeffries-Matusita, gerando confusão, devida à reflectância espectral, entre essas classes, o que faz com que existam pixels pertencentes a uma classe na outra.

A classificação da imagem verão apresentou acurácia global de 95,94%, onde, dos 838 pixels amostrados 804 foram classificados corretamente, como pode-se verificar nos valores da diagonal principal da Tabela 21. De acordo com a avaliação qualitativa sugerida por Landis & Koch (1977), esse resultado é

considerado excelente, uma vez que o coeficiente Kappa foi de 0,95. O mínimo de acurácia global requerida para a maioria das aplicações é de 85% (Brites, 1996).

TABELA 20 - Matriz de separabilidade espectral gerada no ENVI para as regiões de interesse das amostras de treinamento - Índice Jeffries-Matusita - Imagem verão.

<b>Separação de pares (do menor para o maior):</b>	
Vegetação Arbustiva (119 pontos) e Culturas (424 pontos)	1,5
Vegetação Arbustiva (119 pontos) e Pastagem (249 pontos)	1,7
Área Urbana (67 pontos) e Solo Exposto (469 pontos)	1,7
Vegetação Arbustiva (119 pontos) e Vegetação Arbórea (279 pontos)	1,8
Vegetação Arbórea (279 pontos) e Culturas (424 pontos)	1,9
Pastagem (249 pontos) e Solo Exposto (469 pontos)	1,9
Vegetação Arbórea (279 pontos) e Pastagem (249 pontos)	1,9
Pastagem (249 pontos) e Culturas (424 pontos)	1,9
Vegetação Arbustiva (119 pontos) e Solo Exposto (469 pontos)	1,9
Pastagem (249 pontos) e Área Urbana (67 pontos)	1,9
Culturas (424 pontos) e Solo Exposto (469 pontos)	1,9
Vegetação Arbórea (279 pontos) e Solo Exposto (469 pontos)	1,9
Vegetação Arbustiva (119 pontos) e Área Urbana (67 pontos)	1,9
Área Urbana (67 pontos) e Cultura (424 pontos)	1,9
Vegetação Arbórea (279 pontos) e Área Urbana (67 pontos)	1,9
Água (220 pontos) e Solo Exposto (469 pontos)	1,9
Vegetação Arbustiva (119 pontos) e Água (220 pontos)	2,0
Água (220 pontos) e Pastagem (249 pontos)	2,0
Água (220 pontos) e Área Urbana (67 pontos)	2,0
Vegetação Arbórea (279 pontos) e Água (220 pontos)	2,0
Água (220 pontos) e Culturas (424 pontos)	2,0

Os dados que não estão localizados na diagonal principal (Tabela 21) denotam os pontos de discordância entre o que é observado no mapa (na horizontal) e a acurácia verificada pelas amostras (na vertical). Derivada da matriz de confusão, a tabela de exatidão por classe de mapeamento (Tabela 22)

indica tanto o erro de inclusão, quanto o erro de omissão em porcentagem e por pixels.

TABELA 21 - Matriz de erro das classes de ocupação dos solos do município de Nazareno (número de pontos amostrados) - Imagem verão.

<b>Amostras Mapa</b>	<b>Veg. Arbórea</b>	<b>Veg. Arbustiva</b>	<b>Pastagem</b>	<b>Área urbana</b>	<b>Solo exposto</b>	<b>Água</b>	<b>Cultura</b>	<b>Total</b>
Veg. Arbórea	125	0	0	0	0	0	0	125
Veg. Arbustiva	7	54	0	0	0	0	3	64
Pastagem	0	0	164	0	0	0	0	164
Área urbana	0	0	0	39	1	0	0	40
Solo exposto	0	0	0	17	131	0	0	148
Água	0	0	0	0	0	150	0	150
Cultura	0	6	0	0	0	0	141	147
<b>Total</b>	<b>132</b>	<b>60</b>	<b>164</b>	<b>56</b>	<b>132</b>	<b>150</b>	<b>144</b>	<b>838</b>

TABELA 22 - Erros de omissão e de inclusão por classe de mapeamento em porcentagem e por pixels - Imagem verão.

<b>Classe</b>	<b>Inclusão (%)</b>	<b>Omissão (%)</b>	<b>Inclusão (pixels)</b>	<b>Omissão (pixels)</b>
Veg. Arbórea	0,00	5,30	0/125	7/132
Veg. Arbustiva	15,63	10,00	10/64	6/60
Pastagem	0,00	0,00	0/164	0/164
Área urbana	2,50	30,36	1/40	17/56
Solo exposto	11,49	0,76	17/148	1/132
Água	0,00	0,00	0/150	0/150
Cultura	4,08	2,08	6/147	3/144

Observa-se (Tabelas 21 e 22) que a classificação obteve bons resultados, possuindo baixos valores de erros de omissão e inclusão. O maior valor de erro de omissão encontrado na classificação da imagem verão foi de 30,36% para a

classe Área Urbana na qual dos 56 pixels coletados 17 foram omitidos e incluídos na classe de Solo Exposto. Por sua vez, o maior valor de erro de inclusão foi de 15,63% para a classe de Vegetação Arbustiva, nesta classe foram incluídos 10 pixels (7 da classe de Vegetação Arbórea e 3 da classe de Cultura) que não pertenciam à mesma, sendo esses acrescentados aos 54 corretamente classificados. As classes Vegetação Arbustiva e Cultura, Vegetação Arbustiva e Pastagem e Área Urbana e Solo Exposto apresentaram entre si as maiores confusões, fator observado também através da Tabela 20 com a má separabilidade ocorrida entre essas classes.

Outras classes que também apresentaram erros e denotaram confusões, com relação aos erros de inclusão, foram as classes de Solo Exposto (11,49%), Cultura (4,08%) e Área Urbana (2,50%), a primeira teve 17 pixels incluídos na mesma que pertenciam à classe de Área Urbana, na classe de Cultura foram incluídos 6 pixels pertencentes à Vegetação Arbustiva, foi incluído um pixel à classe Área Urbana, o qual pertencia a classe Solo Exposto. Erros de omissão foram apontados nas classes de Vegetação Arbustiva (10,00%), Vegetação Arbórea (5,30%), Cultura (2,08%) e Solo Exposto (0,76%). Da classe de Vegetação Arbustiva foram omitidos 6 pixels (os mesmos que foram inseridos na classe de Cultura), da classe de Vegetação Arbórea 7 pixels foram omitidos e incluídos na classe de Vegetação Arbustiva, a classe de Cultura teve 3 dos seus 144 pixels omitidos e também inseridos na classe de Vegetação Arbustiva, e, a classe de Solo Exposto omitiu 1 pixel (que foi para a classe de Área Urbana). A confusão entre as referidas classes com a respectiva inversão de pixels é comum, devido à proximidade da reflectância desses pixels no espectro eletromagnético.

As classes que apresentaram melhores resultados na classificação da imagem verão foram as de Água e Pastagem. Essas classes não apresentaram nenhum valor de erros de omissão e inclusão.



#### 4.2.2 Imagem inverno

Na imagem inverno, predominaram as classes de Pastagem e Campos Naturais (38,4%) e de Vegetação Arbustiva (25,5%). No inverno a classe de Solo Exposto (16%) foi a terceira maior e a de Vegetação Arbórea (14,3%) a quarta. Sequencialmente têm-se as classes de Culturas (2,5%), Água (2,1%) e Área Urbana (1%) (Figura 14).

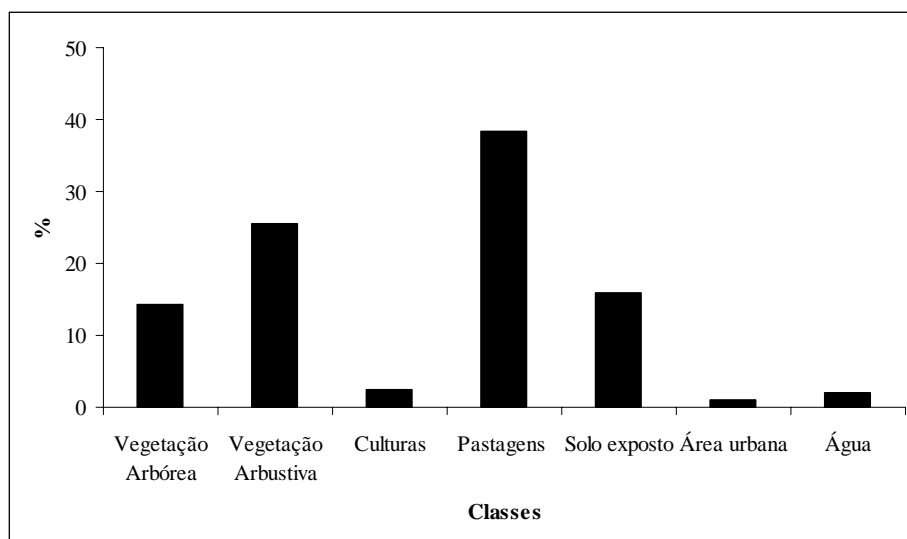


FIGURA 14 - Classes de ocupação dos solos do município de Nazareno, MG, em % - Imagem inverno.

As classes que apontaram as maiores similaridades espectrais entre si no inverno, de acordo com a medida de distância Jeffries-Matusita, foram as de Área Urbana e Solo Exposto, Vegetação Arbórea e Cultura, Vegetação Arbustiva e Cultura e, as de Pastagem e Solo Exposto (Tabela 23).

TABELA 23 - Matriz de separabilidade espectral gerada no ENVI para as regiões de interesse das amostras de treinamento - Índice Jeffries-Matusita - Imagem inverno.

<b>Separação de pares (do menor para o maior):</b>	
Área Urbana (64 pontos) e Solo Exposto (257 pontos)	1,4
Vegetação Arbórea (228 pontos) e Cultura (104 pontos)	1,5
Vegetação Arbustiva (114 pontos) e Cultura (104 pontos)	1,8
Pastagem (232 pontos) e Solo Exposto (257 pontos)	1,8
Vegetação Arbustiva (114 pontos) e Pastagem (232 pontos)	1,9
Vegetação Arbustiva (114 pontos) e Solo Exposto (257 pontos)	1,9
Vegetação Arbórea (228 pontos) e Vegetação Arbustiva (114 pontos)	1,9
Pastagem (232 pontos) e Área Urbana (64 pontos)	1,9
Vegetação Arbustiva (114 pontos) e Área Urbana (64 pontos)	1,9
Vegetação Arbórea (228 pontos) e Pastagem (232 pontos)	1,9
Cultura (104 pontos) e Solo Exposto (257 pontos)	1,9
Vegetação Arbórea (228 pontos) e Solo Exposto (257 pontos)	1,9
Pastagem (232 pontos) e Cultura (104 pontos)	1,9
Vegetação Arbórea (228 pontos) e Água (194 pontos)	2,0
Vegetação Arbórea (228 pontos) e Área Urbana (64 pontos)	2,0
Água (194 pontos) e Pastagem (232 pontos)	2,0
Área Urbana (64 pontos) e Cultura (104 pontos)	2,0
Água (194 pontos) e Área Urbana (64 pontos)	2,0
Água (194 pontos) e Solo Exposto (257 pontos)	2,0
Vegetação Arbustiva (114 pontos) e Água (194 pontos)	2,0
Água (194 pontos) e Cultura (104 pontos)	2,0

A classificação da imagem inverno denotou uma acurácia global de 94,71%, na qual, foram coletados para a amostra de acurácia 606 pixels e 574 foram classificados corretamente (Tabela 24). O coeficiente Kappa encontrado é de 0,94, sendo, portanto, considerado excelente (Landis & Koch, 1977).

A classificação da imagem inverno obteve erros de omissão nas classes de Cultura (55,77%) e de Área Urbana (5,77%). Porém o maior erro de omissão encontrado foi para a classe de Cultura, donde, dos 52 pixels coletados, 24 foram classificados como Vegetação Arbórea e 5 como Vegetação Arbustiva. Esse

elevado valor relacionado à classe de Cultura é compreensível, uma vez que, os pixels omitidos foram, em sua maioria, classificados como Vegetação Arbórea, a qual possui grande similaridade na resolução espectral com a primeira (ambas refletem de forma aproximada no espectro eletromagnético na combinação de bandas utilizadas), fato que ocorre também entre as classes de Vegetação Arbustiva e Cultura, porém, não com a mesma intensidade.

TABELA 24 - Matriz de erro das classes de ocupação dos solos do município de Nazareno (número de pontos amostrados) - Imagem inverno.

<b>Amostras Mapa</b>	<b>Veg. Arbórea</b>	<b>Veg. Arbustiva</b>	<b>Pastagem</b>	<b>Área urbana</b>	<b>Solo exposto</b>	<b>Água</b>	<b>Cultura</b>	<b>Total</b>
Veg. Arbórea	101	0	0	0	0	0	24	125
Veg. Arbustiva	0	52	0	0	0	0	5	57
Pastagem	0	0	142	0	0	0	0	142
Área urbana	0	0	0	49	0	0	0	49
Solo exposto	0	0	0	3	101	0	0	104
Água	0	0	0	0	0	106	0	106
Cultura	0	6	0	0	0	0	23	23
<b>Total</b>	<b>101</b>	<b>52</b>	<b>142</b>	<b>52</b>	<b>101</b>	<b>106</b>	<b>52</b>	<b>606</b>

Com relação aos erros de inclusão o maior valor encontrado foi para a classe de Vegetação Arbórea (19,20%) que teve 24 pixels (pertencentes à classe de Cultura) incluídos na mesma. O segundo maior valor de erro de inclusão foi encontrado para Vegetação Arbustiva (8,77%) e, sequencialmente para a classe de Solo Exposto (2,88%). Na classe de Vegetação Arbustiva 5 pixels pertencentes à classe de Cultura foram incluídos e na classe de Solo Exposto foram inseridos 3 pixels provenientes da classe Área Urbana. Na Tabela 25 é ainda observado que a má separabilidade espectral ocorre exatamente entre as classes que possuem erros de omissão e inclusão. Os melhores resultados foram

apresentados pelas classes de Água e Pastagem, as quais não apresentaram os referidos erros.

TABELA 25 - Erros de omissão e de inclusão por classe de mapeamento em porcentagem e por pixels - Imagem Inverno.

<b>Classe</b>	<b>Inclusão (%)</b>	<b>Omissão (%)</b>	<b>Inclusão (pixels)</b>	<b>Omissão (pixels)</b>
Veg. Arbórea	19,20	0,00	24/125	0/101
Veg. Arbustiva	8,77	0,00	5/57	0/52
Pastagem	0,00	0,00	0/142	0/142
Área urbana	0,00	5,77	0/49	3/52
Solo exposto	2,88	0,00	3/104	0/101
Água	0,00	0,00	0/106	0/106
Cultura	0,00	55,77	0/23	29/52

#### **4.2.3 Processos erosivos, solos e ocupação dos solos**

O município em questão sofre sérios processos erosivos que estão, comumente, relacionados às ações antrópicas desmedidas e desenfreadas (Goulart, 2005; Ferreira, 2005) que alteraram e alteram a cobertura natural e as condições do solo (FAO, 1967). Tais ações aceleraram o índice de carreamento de partículas do solo desnudo para os aquíferos superficiais, diminuindo a vazão dos mesmos através do assoreamento e originando processos erosivos nos solos. A cobertura do solo possui ação direta e efetiva no que diz respeito à redução ou aumento da erosão hídrica, pois a presença da vegetação dissipa a energia cinética das gotas de chuva, diminuindo, por sua vez, a desagregação das partículas de solo, e aumentando a infiltração de água (Cogo, 1981 citado por Cogo et al., 2003). Essa afirmação é fortalecida pelo percentual de solo exposto encontrado no município, especialmente na imagem inverno, e pela área

ocupada pelas 25 voçorocas diagnosticadas por Ferreira (2005), 344,6 ha do município.

A classe de Solo Exposto, na imagem verão, abrange uma área de 11,6% e na imagem inverno 16%. Por sua vez, a classe de Cultura, no verão, ocupa 7% do município e no inverno apenas 2,5% (Figura 15). Como na região o período de colheita da maioria das culturas anuais ocorre até o mês de abril, em parte dessas áreas de culturas, principalmente onde foi realizado um controle mais rígido de plantas invasoras, predomina, após a colheita, o solo exposto. Assim sendo, 11,6% (3804,8 ha) do município são áreas constantes de solo exposto, pois essas não são cultivadas na época do verão. Ou seja, de acordo com as classificações realizadas e considerando seus erros, provavelmente, 10% da ocupação dos solos do município de Nazareno é caracterizada por solo exposto sujeitos a processos erosivos e, portanto, não utilizados como área de Cultura. O valor encontrado para a classe de Solo Exposto na imagem verão, permite, por si, inferir no percentual de solo exposto em área degradada no município de Nazareno, mas esse, somado aos dados das classes de Solo Exposto e Culturas, adquiridos na imagem inverno, possibilitam a confirmação do referido percentual.

Ferreira (2005) afirma que as construções não planejadas de estradas rurais nas décadas de 1950 e 1960, somadas à utilização das mesmas por veículos de tração animal, compactavam bastante os solos aprofundando o leito das estradas e originando cavas que, por sua vez, auxiliavam, dentre outros fatores, na formação das voçorocas levantadas. Quando ocorria a formação dessas voçorocas as estradas eram realocadas, geralmente para áreas adjacentes, fator que contribuía por gerar um alargamento e conseqüente ampliação das voçorocas. Outra ação antrópica que, de acordo com o autor potencializou a origem de processos de voçorocamento foi a mineração aurífera dos séculos

XVII e XVIII, cujo processo de extração se dava pelo desmonte das encostas onde o minério era encontrado.



FIGURA 15 - Comparação entre as classes temáticas de culturas e solo exposto do município de Nazareno, MG, em % - imagem verão x imagem inverno.

Desmatamentos e manejos agrícolas inadequados, juntamente com os valos limítrofes de propriedades também são considerados (Ferreira, 2005) fatores que deram origem às voçorocas do município. Os valos limítrofes de propriedade podem ter funcionado como canalizadores de água (Castro, 2004), favorecendo o aparecimento de voçorocas. Para Prosser & Abernethy (1996) o tipo de solo, a quantidade de água canalizada, as características da vertente - gradiente de altitude, topografia - intensifica o surgimento de erosões hídricas.

Dentre os 26 pontos em voçorocas estudados por Ferreira (2005) (Tabela 26), dois pontos, o cinco e o seis, estão localizados na mesma voçoroca, devido

ao fato de nela ocorrerem duas classes de solos. Dessas voçorocas diagnosticadas, a maioria ocorre na Unidade de Mapeamento de Solos LVAd (68%) lembrando ser essa a unidade que abrange a maior área no município. Seqüencialmente, têm-se as voçorocas que ocorrem nas unidades CXbd02 (24%), CXbd01 (4%) e LVdf (4%).

TABELA 26 - Voçorocas diagnosticadas no município de Nazareno: pontos de coleta de solos e respectiva localização.

<b>Voçorocas</b>	<b>Coordenadas 23K - UTM</b>	<b>Voçorocas</b>	<b>Coordenadas 23K - UTM</b>
1	539170 7653293	14	536544 7651954
2	540161 7652561	15	550301 7647693
3	541708 7653325	16	539052 7652684
4	546761 7651785	17	539642 7652958
5	541176 7653727	18	540635 7652890
6	541086 7653317	19	534483 7656594
7	541086 7653317	20	547980 7651000
8	538360 7654768	21	541482 7657552
9	539514 7653009	22	541986 7658737
10	536571 7654531	23	544327 7658340
11	534318 7658040	24	538545 7665470
12	549817 7651679	25	533833 7663505
13	543525 7657561	26	544658 7652140

Fonte: adaptado de Ferreira (2005).

Ao inserir as coordenadas das 25 voçorocas levantadas por Ferreira (2005) nas imagens de verão e inverno, observa-se que a maioria delas coincide com áreas de vegetação arbustiva e com áreas de pastagens. Nos levantamentos efetuados por este autor foi comum encontrar voçorocas no entorno da área urbana, coincidindo com as classificações realizadas. Somente cerca de 25% das voçorocas daquele trabalho efetuado por Ferreira (2005) estão localizadas, de acordo com as classificações das imagens de verão e de inverno na classe de Solo Exposto. Quando em processo de estabilização é comum que a voçoroca possua um elevado nível de cobertura vegetal. Mas, no caso estudado, cerca de 85% das voçorocas possui baixo nível de estabilização, e, ainda assim, foram, em sua maioria (cerca de 75%) inseridas nas classes de Vegetação Arbustiva, Cultura, Pastagens e Campos Naturais.

O trabalho de Ferreira (2005) somado à pesquisa realizada por Giarola et al. (1997) na Bacia do Alto Rio Grande, encontraram valores de perdas de solo de 593 t/ha/ano e descrevem a área como submetida a intenso uso antrópico. Trata-se de uma região que foi palco de diversificadas fases de desmatamentos, de usos fora dos limites de aceitação, de uma ocupação desordenada, da construção de estradas mal (ou não) planejadas etc.



## 5 CONCLUSÕES

- As classes de solo dominantes são os Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos típico, argiloso a muito argiloso, A moderado e os Cambissolos Háplicos Tb Distróficos típico, argiloso, A moderado álico, ressaltando que existe uma alternância na dominância dessas classes em todo o ambiente.
- As classificações de máxima-verossimilhança realizadas demonstraram bons resultados, obtendo elevados índices Kappa e ocorrência de confusões entre poucas classes.
- A comparação entre as imagens Landsat ETM+ de verão e inverno demonstrou fortes indícios na classificação de áreas degradadas e sob processos de erosão hídrica laminar, e apontou a imagem verão como passível de ser utilizada para avaliação dos solos expostos subjugados a processos erosivos, considerando-se importante a utilização da imagem inverno para a confirmação dos dados.
- As imagens Landsat ETM+ não apresentaram eficiência na classificação de áreas de voçorocamento, classificando a maioria das voçorocas cadastradas (cerca de 75%) por Ferreira (2005) nas classes de Vegetação Arbustiva, Cultura, Pastagens e Campos Naturais, e não na classe de Solo Exposto como esperado.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTUNES, A.F.B; LINGNAU, C. Determinação da acurácia temática de dados oriundos da classificação digital de objetos por meio de lógica fuzzy. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p.3451-3459.

ANTUNES, F.Z. Caracterização climática do Estado de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.12. n.138, p.9-13, 1986.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 1990. 355p.

BOLFE, E.L. et al. Avaliação da classificação digital de povoamentos florestais em imagens de satélite através de índices de acurácia. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.28, n.1, p.85-90, 2004.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Centro Nacional de Ensino e Pesquisas Agronômicas. **Levantamento de reconhecimento dos solos da região de influência de furnas**. Rio de Janeiro: CNEPA/MA, 1962. 142p. (Boletim, 13).

BRASIL. RADAMBRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Projeto RADAMBRASIL**: levantamento de recursos naturais. Rio de Janeiro, 1983. v.32, 780p.

BRITES, R.S. **Verificação de exatidão em classificação de imagens digitais orbitais**: efeitos de diferentes estratégias de amostragem e avaliação de índices de exatidão. 1996. 101p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

CÂMARA, G.; DAVIS, C. Apresentação. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A.M.V. (Org.). **Introdução à ciência da geoinformação**. 2002. Cap. 1. Disponível em: < <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap1-introducao.pdf>>. Acesso em: 12 out. 2004.

CARVALHO, M.M.; EVANGELISTA, A.R.; CURI, N. **Desenvolvimento de pastagens na zona fisiográfica Campo das Vertentes, MG**. Lavras: ESAL; Coronel Pacheco: EMBRAPA.-CNPGL, 1994. 127p.

CARVALHO, L.M.T. **Mapping and monitoring Forest remnants: a multiscale analysis of spatio-temporal data**. 2001. 150p. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto)-Wageningen University, Wageningen, The Netherlands.

CASTANHO, R.B.; BEZZI, M.L.; CASSOL, R. Geoprocessamento x planejamento físico territorial: o caso do distrito de São Bento (Palmeiras das Missões/RS). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: INPE, 2005 p.21943-1950.

CASTRO, G.C. **Análise da estrutura, diversidade florística e variações espaciais do componente arbóreo de corredores de vegetação na região do Alto Rio Grande, MG**. 2004. 83p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal de Lavras, Lavras.

CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS. **Diagnóstico ambiental do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte, 1983. 158p.

COGO, N.P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R.A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.4, p.743-753, jul./ago. 2003.

CONGALTON, R.G.; GREEN, K. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices**. New York: Lewis, 1999. 137p.

COSTA, D.T.M.A.; ARGENTO, M.S.F.; REIS, C.H. Caracterização do uso da terra da Bacia de Sepetiba com vistas a subsidiar projetos de gestão ambiental em âmbito municipal. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: INPE, 2005. p.2129-2136.

COSTA, J.B. **Caracterização e constituição do solo**. 5.ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1995. 527p.

COSTA, S.S.B. **Estudo da Bacia do Ribeirão Jaguará – MG, como base para o planejamento da conservação e recuperação das nascentes e matas ciliares**. 2004. 214p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

CUNHA, P. **Superfície geomórfica e variabilidade de Latossolos em uma vertente sobre arenito-basalto em Jaboticabal, SP**. 2000. 149p. Tese (Doutorado em Agronomia)-Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP.

CUNHA, S.B.; GUERRA, A.J.T. Degradação ambiental. In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. (Org.). **Geomorfologia e meio ambiente**. 4.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. 372p.

CURI, N. **Relações solo-pastagens na região dos Campos das Vertentes (MG)**. Lavras: EMBRAPA/CNPGL, 1991. 24p. (Relatório).

CURI, N.; FRANZMEIER, D.P. Toposequence of Oxisols from the Central Plateau of Brazil. **Soil Science Society American Journal**, v.48, p.341-346, 1984.

DEAN, W. **A ferro e fogo: a história e a devastação da Mata Atlântica brasileira**. São Paulo: Companhia das Letras, 1996. 484p.

DUTRA, G.C. **Estratificação ambiental visando à recuperação da vegetação ciliar no entorno do lago da Usina Hidrelétrica do Funil, em Minas Gerais**. 2005. 111p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, RJ. **Levantamento exploratório-reconhecimento dos solos do norte de Minas Gerais: área de atuação da SUDENE**. Recife, 1979. 407p. (Boletim Técnico, 60/SUDENE. Série de Recursos de Solos, 12).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação/Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.

FANNING, D.S.; FANNING, M.C.B. **Soil: morphology, genesis and classification**. New York: J. Wiley, 1989. 395p.

FAO. Organization de Las Naciones Unidas para La Agricultura Y La Alimentacion. **La erosion del suelo por el água: algunas medidas para combatirla em las tierras de cultivo**. Roma, 1967. 207p. (Cuadernos de Fomento Agropecuario, 81).

FERREIRA, V.M. **Voçorocas no município de Nazareno, MG: origem, uso da terra e atributos do solo.** 2005. 84p. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

FERREIRA, V.M. et al. The erosive process in Nazareno, Minas Gerais State, Brazil: a New approach to understand soil degradation. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON LAND DEGRADATION AND MEETING OF THE IUSS SUBCOMMISSION C. SOIL AND WATER CONSERVATION, 3., 2001, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: EMBRAPA & SBRS, 2001. 1CD-ROM.

FIGUEIREDO, S.M.M. **Comparação entre técnicas de classificação digital em imagens Landsat no mapeamento do uso e ocupação do solo em Capixaba, Acre.** 2005. 127p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

FILETTO, F. **Trajatória histórica do café na Região Sul de Minas Gerais.** 2000. 133p. Dissertação (Mestrado em Administração)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

FLEURY, J.M. **Curso de geologia básica.** Goiânia: UFG, 1995. 261p.

FRANÇA, G.V. de; DEMATTE, J.A.M. Levantamento de solos e interpretação fotográfica dos padrões desenvolvidos em solos originados do arenito de Bauru. **Science Agricultural**, Piracicaba, v.50, n.1, p.77-86, Feb./May 1993.

GALETI, P.A. **Conservação do solo-reflorestamento-clima.** Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1989. 286p.

GIAROLA, N.F.B. **Levantamento pedológico, perdas de solo e aptidão agrícola das terras na região sob influência do Reservatório de Itutinga/Camargos (MG).** 1994. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)-Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, MG.

GIAROLA, N.F.B. et al. **Solos da região sob influência do reservatório da hidrelétrica de Itutinga/Camargos (MG): perspectiva ambiental.** Lavras: CEMIG, 1997. 101p.

GOMES, D.C.H. et al. Levantamento de solos como subsídio ao diagnóstico sócio-ambiental: A bacia do ribeirão das Anhumas, Campinas (SP). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEÓGRAFOS, 6., 2004, Goiânia. **Textos...** Disponível em: <[http://www.igeo.uerj.br/VICBG-2004/Eixo2/e2\\_textosnu4.htm#\\_edn1](http://www.igeo.uerj.br/VICBG-2004/Eixo2/e2_textosnu4.htm#_edn1)>. Acesso em: 21 jan. 2006.

GONZALEZ, R.C.; WOODS, R.E. **Processamento de imagens digitais**. São Paulo: E. Blücher, 2000. 509p.

GOULART, R.M. **Comportamento de espécies florestais e atributos de solo visando à estabilização de voçorocas**. 2005. 81p. Dissertação - (Mestrado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE. Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1992. 92p. (Manuais Técnicos em Geociências).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA.. Ministério do Planejamento e Orçamento. **Contagem da população: resultados relativos s sexo da população e situação da unidade domiciliar**. Rio de Janeiro, 2000. v.1.

KUHNLE, R.A. et al. Effect of land use changes on sediment transport. **Water Resources Research.**, Australia, v.32, n.10, p. 3189-3196, month, 1996.

LANDIS, J.; KOCH, G.G. The measurements of agreement for categorical data. **Biometrics**, v.33, n.3, p.159-179, mar. 1977.

LEMO, R.C.; SANTOS, R.D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 3.ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. 84p.

LILLESAND, T.M.; KIEFER, R.W. **Remote sensing and image interpretation**. 4.ed. New York: J. Wiley, 2000. 724p.

MAFRA, N.M.C. Erosão e planificação de uso do solo. In: GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S.; BOTELHO, R.G.M. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999 p.301-322.

MAILLARD, P. **Introdução ao processamento digital de imagens**. Belo Horizonte: UFMG/IGC, 2001. Disponível em:  
<<http://www.csr.ufmg.br/geoprocessamento/centrorecursos/apostila/apostila.htm>  
l>. Acesso em: 12 dez 2005.

MARQUES, J.J.G.S.M.; CURI, N.; LIMA, J.M. **Recursos ambientais da Bacia do Alto Rio Grande, Minas Gerais**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2002. 33p. (Especialização Lato Sensu em Solos e Meio Ambiente).

MARTINS, S.G. et al. Perdas de solo e água por erosão hídrica em sistemas florestais na região de Aracruz (ES). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.3, p.395-403, maio/jun. 2003.

MATHER, P.M. **Computer processing of remotely-sensed images: an introduction**. 2.ed. Nottingham, UK: J. Willey, 1999. 292p.

MINAS GERAIS. Secretaria do Estado da Agricultura. **Zoneamento Agroclimático de Minas Gerais**. Belo Horizonte, 1980.

MONIZ, A.C. Decomposição de rochas e formação de minerais de argila. In: MONIZ, A.C. (Org.). **Elementos de Pedologia**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1972. p.305-323.

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

MOTTA, P.E.M. et al. **Levantamento pedológico detalhado, erosão dos solos, uso atual e aptidão agrícola das terras de microbacia piloto na região sob influência do reservatório da hidrelétrica de Itutinga/Camargos-MG**. Lavras, MG: UFLA/CEMIG, 2001. p.51.

NOVO, E.M.L de M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 2.ed. São Paulo: E. Blucher, 1992. 308p.

OLIVEIRA, J.B de.; JACOMINE, P.K.T.; CAMARGO, M.N. **Classes gerais de solos do Brasil: guia auxiliar para seu reconhecimento**. 2 ed. Jaboticabal, FUNEP, 1992. 201p.

OLIVEIRA, L.T. **Fusão de imagens de sensoriamento remoto e mineração de dados geográficos para mapear as fitofisionomias do bioma cerrado**. 2004. 150p. Dissertação (Mestrado em Manejo Ambiental)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

OLIVEIRA, L.T.; CARVALHO, L.M.T.; ACERBI JR, F.W. Mapeamento ecologia da paisagem dos fragmentos de floresta semidecidual do município de Lavras - Minas Gerais. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS APLICADAS À ENGENHARIA FLORESTAL, 5., 2002, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 2002. p. 237-239.

OLIVEIRA FILHO, A.T. de; VILELA, E.A.; CARVALHO, D.A. Comparisson of the woody flora and soil of six áreas of montane semideciduos Forest in southern Minas Gerais, Brasil. **Edinburgh Journal of Botany**, Edimburgh, v.51, n.4, p.524-558, Oct./Dec. 1994.

PEREIRA, J.C.; OLIVEIRA, G.C.; MESQUITA, M.G.B.F. Controle da erosão em terras não cultivadas. **Informe Agropecuário**. Belo Horizonte: v.16, n.176, p.69-72, 1992.

PIROLI, E.L. **Geoprocessamento**. Disponível em:  
<[http://www.pirolis.hpg.ig.com.br/Ciencia\\_e\\_Educacao/1/interna\\_hpg1.html](http://www.pirolis.hpg.ig.com.br/Ciencia_e_Educacao/1/interna_hpg1.html)>  
Acesso em: 4 out. 2004.

POCAY, V.G. **Relações entre pedoformas e variabilidade espacial de atributos de Latossolos sob cultivo de cana-de-açúcar**. 2000. 177p.Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP.

PROSSER, I. P.; ABERNETHY, B. Predicting the topographic limits to a gully network using a digital terrain model and process thresholds. **Water Resources Research**, Australia, v.32, n.7,p.2289-2298, July 1996.

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

RIBEIRO, A. et al. Evolução das bacias proterozóicas e o termo-tectonismo brasileiro na margem sul do Cráton São Francisco. **Revista Brasileira de Geociências**, v.25, n.4, p. 235-248, dez. 1995.

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

SCOLFARO, J.R.S. (Coord.). **Mapeamento de flora nativa e dos reflorestamentos do Estado de Minas Gerais**. Lavras: UFLA, 2005. 88p. (Inventário Florestal de Minas Gerais).

SILVA, A.C. **Relação entre voçorocas e solos na região de Lavras (MG)**. 1990. 124p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)-Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, MG.



SILVA, A.M.; SCHULZ, H.E.; CAMARGO, P.B. **Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas**. São Carlos: RIMa, 2003. 140p.

SOARES, A.C.P. et al. **Nota explicativa dos mapas geológico, metalogenético e de ocorrência minerais do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: COMIG, 1994. 97p.

SOUSA de, J. B.; SOUZA de, C.A. Usos do solo na bacia hidrográfica do Rio Jauru/MT e os impactos associados. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE REDUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS: ÁGUAS E BIODIVERSIDADE - TRABALHOS VOLUNTÁRIOS, 5., 2002, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SOBRADE, 2002. p.60-62.

SOUZA, C.K. **Relação solo-paisagem-erosão e variabilidade espacial de Latossolos em áreas sob cultivo de cana-de-açúcar no município de Jaboticabal (SP)**. 2001. 186p. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP.

SOUZA, C.K. et al. Influência do relevo e erosão na variabilidade espacial de um Latossolo em Jaboticabal (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.6, p.1067-1074, Nov./Dez. 2003.

SOUSA JUNIOR, G.A. de. **Zoneamento da faixa tampão do reservatório da UHE-Camargos e avaliação de sua regeneração natural**. 2005. 103p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

SULSOFT. **Guiado ENVI em português: ENVI 4.0**. Porto Alegre, 2004. Disponível em: <<http://www.envi.com.br>> . Acesso em: 17 dez. 2005.

TSO, B.; MATHER, P.M. **Classification methods for remotely sensed data**. New York: Taylor and Francis, 2001. 332p.

WACHHOLZ, F.; PEREIRA FILHO, W. Mapeamento do uso da terra na bacia hidrográfica do Arroio Barriga - RS, utilizando o sensoriamento remoto. In: JORNADA DA EDUCAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO NO ÂMBITO DO MERCOSUL, 4., 2004, São Leopoldo. **Anais...** São Leopoldo, RS: Universidade Federal de Santa Maria, 2004.

ZEMELLA, M.P. **O abastecimento da capitania das Minas Gerais no século XVIII**. 2.ed. São Paulo: HUCITEC, 1990. 247p.

ZULIANI, D.Q. **Balço geoquímico em plantações de eucalipto e caracterização de águas superficiais próximas a depósitos de lixo:** estudos de caso. 2003. 91p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)- Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.