

## Sensoriamento remoto como suporte para quantificação do desmatamento de floresta estacional decidual no Norte de Minas Gerais

Manoel Reinaldo Leite <sup>1</sup>  
Jorge Luis Silva Brito <sup>1</sup>  
Marcos Esdras Leite <sup>2</sup>  
Mário Marcos do Espírito Santo <sup>2</sup>  
Carlos Magno Santos Clemente <sup>2</sup>  
Jefferson Wiliam Lopes Almeida <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Uberlândia – UFU  
Caixa Postal 593 – 38400-902 – Uberlândia – MG, Brasil  
manoelreinaldo@ig.com.br  
jbrito@ufu.br

<sup>2</sup> Universidade Estadual de Montes Claros - UNIMONTES  
Caixa Postal 126 - 39401-089 - Montes Claros – MG - Brasil  
{Mariosanto, jeffersonlopesalmeida}@gmail.com  
{marcosesdras, carlosmagno\_sc}@ig.com.br

**Abstract:** This study aimed to evaluate and quantify the deforestation occurred in the area of tropical deciduous forest in northern Minas Gerais State for the years 1986, 1996 and 2006. To this purpose, we used data for the series of TM - Landsat 5, provided by the National Institute for Space Research (INPE), and indices derived from these images according to the methodology presented by Carvalho (2005). We also used data provided by the State Forestry Institute (IEF) for the year 2006. Our results showed that deforestation rates were high during the last 20 years, with strong pressures on the deciduous forest in northern Minas Gerais, especially by cattle raising and irrigated agriculture. Thus, there is an urgent demand for initiatives to stimulate the economic zoning and sustainable use of tropical dry forests in this region. Together with the enforcement of environmental laws, it might mitigate the impacts of deforestation in northern Minas Gerais in the forthcoming decades.

**Palavras-Chave:** Seasonally Dry Deciduous Forest, Deforestation, North of Minas Gerais. Floresta Estacional Decidual, Desmatamento e Norte de Minas Gerais.

### 1. Introdução

O sensoriamento remoto vem dando suporte a vários estudos sobre a superfície da Terra. Dentre as várias aplicações possíveis para os dados de sensores remotos, destacamos sua aplicação para o mapeamento da cobertura vegetal de forma multitemporal. Assim, além de grande facilitador de mapeamento da cobertura atual, este tipo de dado, como no caso da série histórica do TM – Landsat 5, se configura como uma importante fonte de informações históricas. Dessa maneira, é possível realizar o mapeamento e a quantificação de informações pretéritas e atuais das áreas imageadas.

Dentro deste contexto, este trabalho buscou avaliar e quantificar o desmatamento ocorrido na área de floresta estacional decidual no Norte do estado de Minas Gerais para os anos de 1986, 1996 e 2006. Para tanto, utilizou-se de dados da série histórica do TM – Landsat 5, disponibilizada pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e índices derivados dessas imagens nos passos metodológicos apresentados por Carvalho (2005).

O trabalho contemplou os anos de 1986 e 1996, já que para o ano de 2006 considerou-se os dados de cobertura vegetal natural e reflorestamento do estado de Minas Gerais Scolforo e Carvalho (2006), disponibilizados pelo Instituto Estadual de Florestas (IEF). Desta forma, buscou-se a aproximação, quando possível, dos procedimentos operacionais mostrados por

Carvalho (2005), por entender que o resultado do mapeamento atendeu as necessidades deste trabalho.

### 1.1 Área de Estudo

A mesorregião Norte de Minas Gerais é composta por 89 municípios, totalizando uma área de aproximadamente 127.816,15 km<sup>2</sup> localizada entre as coordenadas 14° 12' 34'' e 18° 13' 37'' S, 41° 16' 57'' e 46° 20' 39'' N (Figura 1). Possui uma população absoluta de 1.473.367 habitantes (IBGE, 2000), implicando em uma densidade demográfica de apenas 11,5 habitantes/km<sup>2</sup>. A economia do norte de Minas Gerais está baseada na agropecuária e no extrativismo. Somente em alguns municípios, como Montes Claros, Várzea da Palma, Pirapora, Bocaiúva e Capitão Enéas, encontram-se indústrias de médio e grande porte.

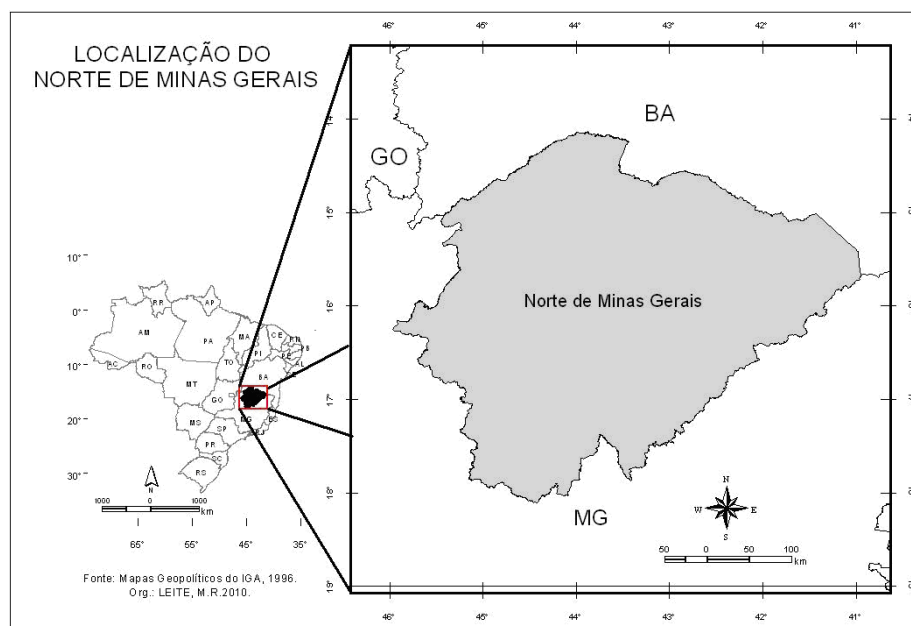


Figura 1 – Localização do Norte de Minas Gerais.

O clima da região é do tipo Tropical Subúmido Úmido, próximo ao limite do Subúmido Seco, com períodos de chuvas concentradas entre os meses de outubro a março. Os meses de Novembro, dezembro e Janeiro são os mais chuvosos, enquanto o período mais seco desenvolve-se entre Junho e Agosto Nimer e Brandão (1989).

Quanto à cobertura vegetal, a região se destaca por se localizar na área de transição entre os domínios do Cerrado e da Caatinga, de acordo com o Mapa de Biomas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). As formações vegetais mais comumente encontradas no norte de Minas Gerais são a floresta estacional decidual e as diversas fitofisionomias do Cerrado (cerrado *sensu stricto*, matas de galeria, campos rupestres, entre outras).

## 2. Materiais e métodos

Para a realização deste estudo os seguintes documentos cartográficos foram utilizados:

- Imagens TM Landsat 5 para o ano de 2009, órbita 220 pontos 70 e 71; órbita 219 pontos 70, 71 e 72; órbita 218 pontos 70, 71, 72 e 73; órbita 217 pontos 71 e 72 de verão, primavera e inverno disponibilizados pelo (INPE)
- Imagens TM Landsat 5, para os anos de 1986 e 1996, órbita 220 pontos 70 e 71; órbita 219 pontos 70, 71 e 72; órbita 218 pontos 70, 71, 72 e 73; órbita 217 pontos 71 e 72 de verão, primavera e inverno disponibilizadas pelo (INPE).

- Cartas digitais altimétricas oriundas de dados SRTM disponibilizadas pela Embrapa referentes às seguintes dobras: SD-23-Y-B, SD-23Y-B, SE-23-V-B, SE-23-V-D, SE-23-Y-B, SD-23-Z-A, SD-23-Z-C, SE-23-X-A, SE-23-X-C, SE-23-Z-A, SD-23-Z-B, SD-23-Z-D, SE-23-X-B, SE-23-X-D, SD-24-Y-C e SE-24-V-A.

Num primeiro momento do estudo foram elaboradas cartas-imagem para os anos de 1986, 1996 e 2009 para o período de inverno. Posteriormente deu-se início a foto-leitura, foto-análise e a foto-interpretação. A partir disso, foi obtida uma chave preliminar de interpretação levando-se em consideração os elementos cor, textura e forma dos diferentes sistemas de uso da terra, conforme orienta Rosa (2004). Os padrões foram identificados na carta de 2009 e posteriormente comparados com as demais cartas. Sequencialmente, foi realizada viagem de campo para se avaliar o potencial da chave preliminar de análise.

## 2.1 Processamento digital das imagens

Nesta etapa as imagens foram corrigidas levando em consideração as correções radiométricas e geométricas, dentre as quais cita-se a remoção de ruídos, calibração por unidade de radiância e conversão dos números digitais. Além disso, foi feita a correção do “efeito topográfico”, resultado da diferença de iluminação entre os ângulos solar e do terreno, utilizando-se o MNT do SRTM. Seguindo as recomendações de Colby (1991) e Smith et al. (1980), os valores de intensidade das imagens foram normalizados. Quanto à correção geométrica, foram adquiridos cinco pontos de controle em todas as imagens e o MNT, atingindo um erro médio de 23 m, ou seja, menor do que um pixel.

## 2.2 Conversões dos números digitam e elaboração dos mosaicos.

Como descrito na introdução este trabalho, buscou-se a aproximação operacional com o trabalho apresentado por Carvalho (2005). No referido trabalho, o autor converte os números digitais utilizando das equações de Lillesand e Kiefer (2000) e Huang et al. (2002). Entretanto, no presente estudo, por se tratar de um grande volume de dados anterior ao ano de 2000, optou-se por utilizar as equações (1) de Markham e Barker (1986) e (2) de Allen et al. (2002), bem como dados de calibração fornecidos pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos da América (Tabela 1).

$$L_{\lambda_i} = a_i + \frac{b_i - a_i}{255} \times ND \quad (1)$$

$$\rho_{\lambda_i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda_i}}{k_{\lambda_i} \cdot \cos Z \cdot d_r} \quad (2)$$

Em que:

$L_{\lambda_i}$  = Radiância espectral

$a_i$   $b_i$  = Radiâncias espectrais

$ND$  = Número digital

$i$  = Bandas TM Landsat 5

$\rho_{\lambda_i}$  = Reflectância monocromática

$k_{\lambda_i}$  = Irradiância espectral no topo da atmosfera

$\cos Z$  = Ângulo zinital solar

$d_r$  = Distância terra sol

Tabela 1 – Mapeador Temático (TM) Landsat 5: descrição, intervalo de comprimentos de onda e coeficientes de calibração, radiâncias espectrais mínima (a) e máxima (b) e irradiância espectral no topo da atmosfera.

Descrição dos Canais	Comprimento de onda ( $\mu\text{m}$ )	Coeficientes de calibração ( $\text{mW}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\mu\text{m}^{-1}$ )		$K_b(\lambda_i)$ ( $\text{mW}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\mu\text{m}^{-1}$ )
		a	b	
Banda 1 (azul)	0,45 – 0,52	-0,150	15,21	195,8
Banda 2 (verde)	0,53 – 0,61	-0,280	29,68	182,8
Banda 3 (vermelho)	0,62 – 0,69	-0,120	20,43	155,9
Banda 4 (infravermelho próximo)	0,78 – 0,90	-0,150	20,62	104,5
Banda 5 (infravermelho médio)	1,57 – 1,78	-0,037	2,720	21,9
Banda 6 (infravermelho termal)	10,4 – 12,5	0,1238	1,560	-
Banda 7 (infravermelho médio)	2,10 – 2,35	-0,015	1,440	7,5

Fonte: Serviço Geológico dos Estados Unidos da América.

Posteriormente, os resultados foram truncados e multiplicados para se comportarem como dados de 8 bits. As imagens foram mosaicadas e georreferenciadas para a projeção Albers de Igual Área, conforme Tabela 2. Este procedimento se faz necessário já que os dados de 2006 foram referenciados para esta projeção.

Tabela 2 – Projeção cartográfica utilizada
South America Albers Equal Area Conic
Projection: Albers
False Easting: 0,000000
False Northing: 0,000000
Central Meridian: -60,000000
Standard Parallel 1: -5,000000
Standard Parallel 2: -42,000000
Latitude Of Origin: -32,000000

### 3. Índices e classificação

#### 3.1 *Tasseled Cap*

A transformação *tasseled cap* é uma transformação linear resultante da rotação e translação dos dados de refletância que gera novos eixos de domínio espectral sintetizados em três novas componentes (Carvalho 2005). A componente *brightness* é a soma ponderada de todas as bandas e está relacionada à variação espectral dos solos. A componente *greenness* esta relacionada ao vigor da vegetação e é a diferença entre o canal do infravermelho próximo e os demais. A componente *wetness* é o contraste entre o infravermelho médio e os demais canais (Gleriani et al. 2003).

#### 3.2 Índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI)

São valores que indicam a sensibilidade e a condição da vegetação verde. Os valores variam de -1 a +1. Em superfícies com vegetação, o NDVI varia de 0 (quase sem vegetação) a 1 (totalmente ou na sua maioria vegetada). Para água e nuvens o NDVI é menor que 0. O NDVI pode ser obtido através da razão entre a banda do infravermelho próximo e a do vermelho normalizada pela soma destas, conforme Allen et al. (2002). A equação (3) é utilizada:

$$NDVI = \frac{\rho_4 - \rho_3}{\rho_4 + \rho_3} \quad (3)$$

Em que:

$\rho_4$ = Banda 4 TM Landsat 5 e  $\rho_3$ = Banda 3 TM Landsat 5.

O NDVI se mostrou um excelente diferenciador entre as áreas de floresta estacional decidual e floresta estacional semidecidual, sobretudo no inverno.

### 3.3 Classificação

O método de classificação foi o supervisionado e o classificador utilizado foi de árvore de decisão. Este é um tipo de classificador de múltiplos estágios que pode utilizar uma pilha de imagens independentes do sistema de projeção (ENVI 2010). As regras de árvore de decisão permitem dividir as imagens utilizando dados multitemporais, além de derivadas de MNT. No nosso caso, o MNT utilizado na classificação teve que ser convertido para o formato de bits (0 a 255) e os valores relativizados utilizando porcentagem. Assim, para os mapeamentos realizados para os anos de 1986 e 1996 foram utilizados *tasseled cap* de inverno, verão e primavera, NDVI de inverno e verão, as bandas 3, 4 e 5 das imagens de inverno e o MNT.

### 4. Resultados

A área de estudo compreende a floresta estacional decidual que cobre uma superfície de 16.970,92 km<sup>2</sup> da mesorregião do norte do Estado de Minas Gerais (Figura 2). A execução da metodologia aqui empregada revelou uma perda total de 2227,73 km<sup>2</sup> de área de 1986 para 2006, correspondendo uma perda percentual de 11,4% da cobertura vegetal dessa formação nos últimos 20 anos.

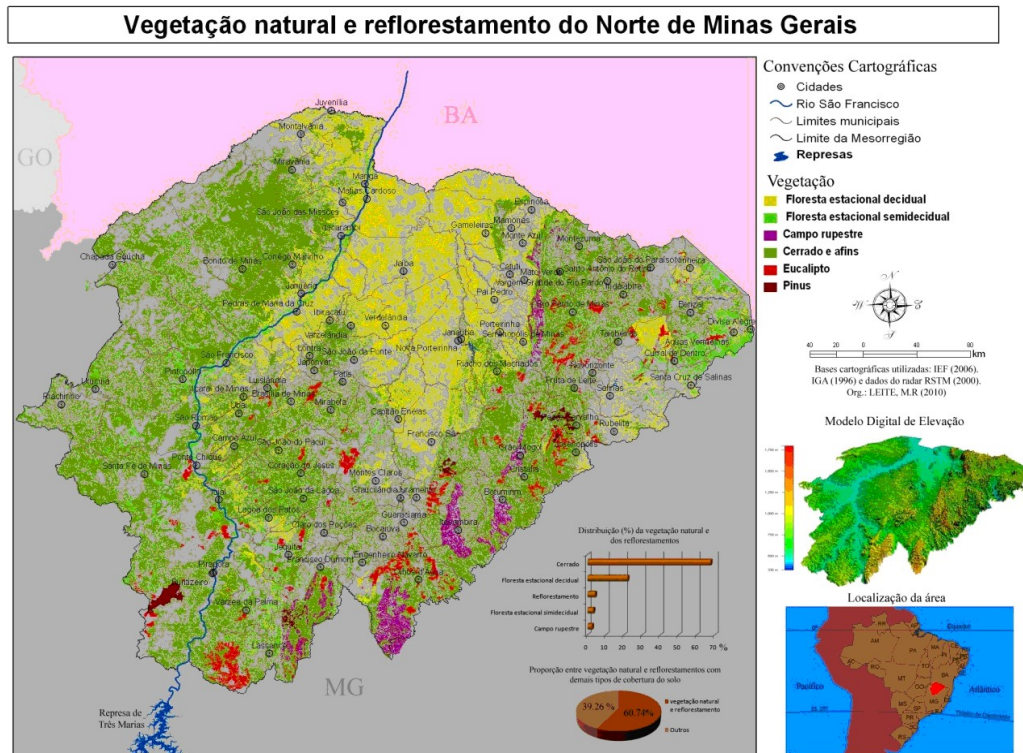


Figura 2 – Cobertura Vegetal natural e Reflorestamento do Norte de Minas.

A perda média anual foi de 111,39 km<sup>2</sup> e a implantação de grandes projetos de irrigação, como o Projeto Gortuba no município de Janaúba e o Projeto Jaíba município de Jaíba contribuíram para esta acentuada perda de floresta. O projeto Gortuba que teve sua

implantação firmada em 1978, com a constatação de operações em 1980. Já o Projeto Jaíba inicialmente foi inserido, em 1966, no Plano de Desenvolvimento Integrado da Região Noroeste – PLANOROESTE, programa destinado para o desenvolvimento do Nordeste, em 1974 a área irrigada foi destinada a Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba - CODEVASF Gonçalves (2001).

Considerando o valor encontrado de floresta para o ano de 1986 como 100% de área, no que concerne este estudo, a Tabela 3 revela as perdas progressivas e relativas para os anos analisados.

Tabela 3 – Perdas progressivas e relativas de floresta Estacional decidual por ano mapeado

Ano	Área mapeada e perdas progressivas		Perdas relativas por ano mapeado em	
	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%
<b>1986</b>	19198.65	100	-	-
<b>1996</b>	17571.53	91.5	1627.12	9.5
<b>2006</b>	16970.92	88.4	600.61	2.1
			<b>2227.73</b>	<b>11.6</b>

Os dados da Tabela 3 indicam que a média de desmatamento anual de 1986 para 1996 equivale a 162.71 km<sup>2</sup>/ano contra 60.06 km<sup>2</sup>/ano de 1996 para 2006. Estas informações, agregadas à distribuição espacial dos desmatamentos revelados pela análise da Figura 2, permite inferir que os desmatamentos ocorrem de forma generalizada, revelando uma pressão considerável sobre o domínio da floresta estacional norte-mineira. Porém, percebe-se a baixa percentual de desmatamento na Floresta Estacional decidual no intervalo de 1996 à 2006. Essa diminuição que pode ser atribuída a maior atenção direcionada para a preservação da Floresta Estacional Decidual. Diante do exposto, o Decreto-lei n. 750 de 10 de fevereiro de 1993 ao qual dispõe sobre o corte, a exploração e a supressão de vegetação primária ou nos estágios avançado e médio de regeneração da Mata Atlântica é um exemplo dessa preocupação com a Floresta Estacional Decidual. Não obstante, o Art. 3º dessa lei declara que:

Considera-se Mata Atlântica as formações florestais e ecossistemas associados inseridos no domínio Mata Atlântica, com as respectivas delimitações estabelecidas pelo Mapa de Vegetação do Brasil, IBGE 1988: Floresta Ombrófila Densa Atlântica, Floresta Ombrófila Mista, Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Estacional Decidual, manguezais, restingas, campos de altitude, brejos interioranos e encaves florestais do Nordeste. (BRASIL, 1993).

Sendo assim, as políticas ambientais aplicadas de maneira coerente podem auxiliar na regeneração dos aspectos ambientais, tais como, a iniciação de seres, na evolução seccional e a conservação de remanescente de vegetações Naturais, entre essas a Mata Seca.

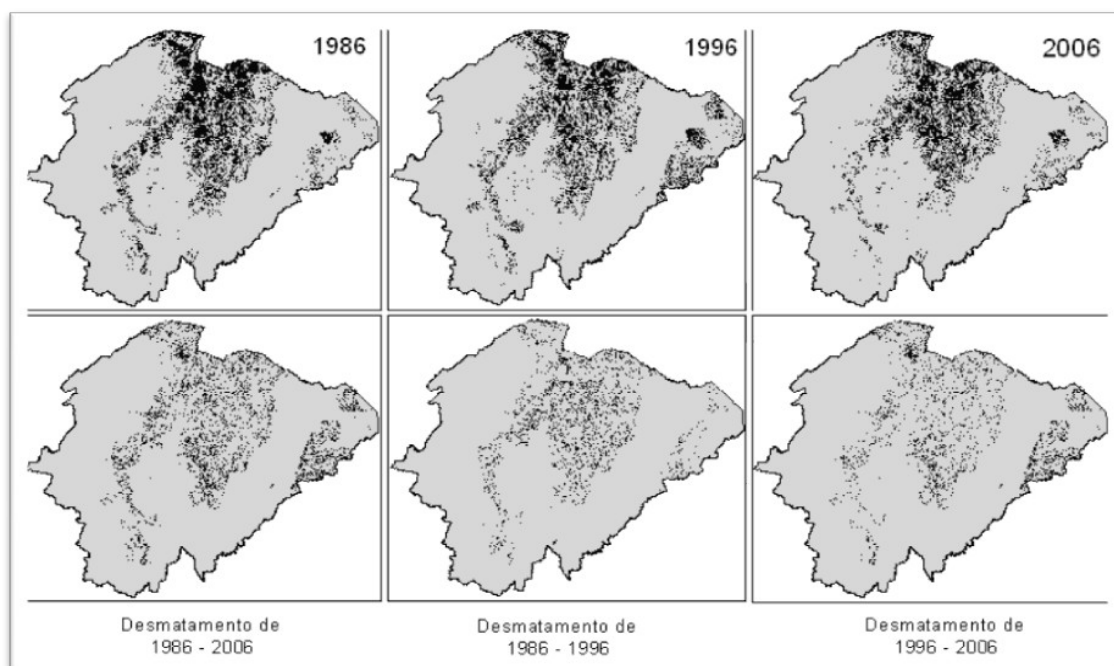


Figura 2 – Cobertura de Floresta estacional decidual por ano mapeado e evolução espacial do desmatamento na mesorregião Norte de Minas Gerais.

Entretanto, depois de seguidas disputas políticas foi promulgada a Lei Estadual 19.096 em 03 de agosto de 2010 pela Assembléia Legislativa de Minas Gerais que combinada com a Lei 17.353 de janeiro de 2008 permite a retirada de até 70% dos remanescentes de floresta estacional no Norte de Minas em cada propriedade privada. Dessa maneira, é bastante provável que a atividade agropecuária e para a produção de carvão aumentarão ainda mais a pressão de desmatamento nessa região.

## 6. Considerações finais

Dados oriundos de sensores remotos, aliados à viagens para validação em campo, são um importante instrumento de gerência e monitoramento dos ambientes terrestres. No presente estudo, os índices de desmatamento encontrados são alarmantes, revelando uma pressão considerável sobre a floresta estacional decidual no Norte de Minas Gerais. Desta forma, é fundamental que iniciativas voltadas para elaboração de zoneamentos ambientais e econômicos sejam realizadas na região, assim como o cumprimento correto da legislação ambiental. Tais ações poderão mitigar os impactos do desmatamento desse importante ecossistema norte-mineiro.

## 5. Referências

Allen, R.; Bastiaanssen, W.; Waters, R.; Tasumi, M.; Trezza, R. **Surface energy balance algorithms for land (SEBAL)**, Idaho implementation – Advanced training and users manual, v. 1.0, 2002. 97p.

Brasil. Decreto Federal Nº. 750 de 10 de fevereiro de 1993. **Dispõe sobre o corte, a exploração e a supressão de vegetação primária nos estágios avançado e médio de regeneração da Mata Atlântica e dá outras providências**. Brasília: Imprensa Nacional, 1993.

Colby, J. D. Topographic normalization in rugged terrain. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. v.57, n. 5, p.531-537, 1991.

Carvalho, L. M. T. de. Mapeamento da flora nativa e das florestas de produção do Estado de Minas Gerais: procedimentos metodológicos e resultados parciais In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR),

12., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p. 4029 - 4026. CD-ROM, On-line. ISBN85-17-00018-8. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.21.10.54/doc/4029.pdf>. Acessado em 28 de outubro de 2010.

ENVI 4.7., Decision Tree Classification: **Tutorial**, 2010. p.7

Fundação Biodiversita. Disponível em [www.biodiversitas.org.br/](http://www.biodiversitas.org.br/).

Gleriani, J. M., Antunes. M. A. H., Epiphanyo J. C. N. COEFICIENTES DA TRANSFORMAÇÃO ESPECTRAL TASSELED CAP PARA UMA CENA COM PREDOMÍNIO DE LATOSSOLO ROXO In: : Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR) 05-10 abril 2003, Belo Horizonte. **Anais**, INPE, p. 101-107. Disponível em: [HTTP://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.17.23.25.56/doc/01\\_353.pdf](HTTP://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.17.23.25.56/doc/01_353.pdf). Acessado em 28 de outubro de 2010.

Gonçalves, M.J. O “*CLUSTER*” DA FRUTICULTURA NO NORTE DE MINAS GERAIS: INTERPRETAÇÃO DE UMA ALTERNATIVA AO DESENVOLVIMENTO REGIONAL– ÊNFASE NO PROJETO JAÍBA (ÁREA EMPRESARIAL). 28 p. **Dissertação** (Mestrado no Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional da Faculdade de Ciências Econômicas) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2001.

Huang, C., Wylie, B., Homer, C., Yang, L., Zylstra, G. Derivation of a Tasseled Cap transformation based on Landsat 7 at-satellite reflectance. **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, n. 8, p. 1741-1748, 2002.

Lillesand, T. M., Kiefer, R. W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. New York: John Wiley & Sons, 2000. 724 p.

Markham, B. L., Barker, J. L. Landsat MSS and TM post-calibration dynamic ranges, exoatmospheric reflectances and at-satellite temperatures, **EOSAT Landsat Technical Notes**, v. 1, p. 3-8, 1986.

Minas Gerais. Lei Estadual 17.353 de 17 de janeiro de 2008. **Dispõe sobre a alteração do uso do solo nas áreas de ocorrência de mata seca**. Belo Horizonte: Assembléia Legislativa do Estado de Minas Gerais, 2008.

Minas Gerais. Lei Estadual 19.096 de 03 de agosto de 2010. **Altera a Lei nº 17.353, de 17 de janeiro de 2008, que dispõe sobre a alteração do uso do solo nas áreas de ocorrência de Mata Seca**. Belo Horizonte: Assembléia Legislativa do Estado de Minas Gerais, 2010.

Rosa, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**, 5ª ed. Uberlândia: UFU, 2003

Scolforo, J. R. S; Carvalho, L. M. T. **Mapeamento e inventário da flora nativa e dos reflorestamentos de Minas Gerais**. Lavras: Editora UFLA, 2006. 288 p.

Smith, J.A.; Lin, T.L.; Ranson, K. The lambertian assumption and Landsat data. . **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. v.46, n.9, p1183-1189, 1980.