

# **INTEGRAÇÃO DE IMAGENS TM/LANDSAT E MODELO DIGITAL DO TERRENO PARA MELHORAR A CLASSIFICAÇÃO DA COBERTURA TERRESTRE<sup>1</sup>**

Vicente Paulo Soares<sup>2</sup>

Carlos Antonio A. S. Ribeiro<sup>2</sup>

Ricardo Seixas Brites<sup>2</sup>

## **RESUMO**

O objetivo deste estudo foi avaliar a integração de imagens TM/Landsat e modelo digital do terreno para melhorar a classificação da cobertura terrestre. A área de estudo encontra-se localizada no Vale do Rio Doce, Estado de Minas Gerais. Os dados usados neste estudo incluíram uma imagem TM/Landsat, obtida em julho de 1989, e um modelo digital do terreno, com resolução de 30 metros. O modelo denominado Backward Radiance Correction Transformation (BRCT) foi aplicado à imagem TM/Landsat para reduzir os efeitos topográficos e gerar imagem com respostas espectrais mais uniformes. Análise visual da imagem normalizada mostrou substancial redução do nível de sombras quando comparada com a imagem original. Ambas as imagens foram também submetidas às análises automáticas, mediante o classificador de máxima verossimilhança. Resultados indicaram exatidão total de 79,54% para a imagem original e de 84,22% para a imagem normalizada, gerando um ganho de 4,68%, embora não tenha havido diferença estatística entre elas a 99% de probabilidade.

Palavras-chaves: Normalização topográfica, sensoriamento remoto, classificador de máxima verossimilhança.

---

<sup>1</sup>Aceito para publicação em 22.03.2000.

<sup>2</sup>Depto. de Engenharia Florestal da UFV, 36571-000 Viçosa-MG.

## ABSTRACT

### INTEGRATION OF LANDSAT TM DATA AND DIGITAL ELEVATION MODEL TO IMPROVE LAND COVER CLASSIFICATION

The purpose of this study was to evaluate the integration of Landsat TM and digital terrain data to improve land cover classification accuracy. The study site is located in the Vale do Rio Doce, Minas Gerais, Brazil. Data used in this study included a Landsat TM image obtained on July 15, 1989 and a 30 x 30 meter digital elevation model (DEM). A Backward Radiance Correction Transformation Model (BRCTM) was applied to the Landsat TM data to suppress the topographic effects and generate an image with more uniform multispectral response properties. Visual analysis of the normalized image showed that it is brighter than the raw image, indicating a reduction of shadow effect, mainly in the central and northeastern portion of the image. Both raw and normalized data sets were classified using a maximum likelihood classifier. Results indicated overall classification accuracies of 79.54% and 84.22% for the raw and normalized data sets, respectively, with an improvement of 4.68%, although there was no statistically significant difference at a 99% of probability.

Key words: topographic normalization, remote sensing, maximum likelihood classifier.

## INTRODUÇÃO

A classificação e o mapeamento da cobertura terrestre são um dos primeiros passos para se realizar a coleta de informações necessárias ao manejo dos recursos naturais. Tradicionalmente, a classificação e o mapeamento da cobertura terrestre têm sido feitos pela interpretação manual de fotografias aéreas, as quais, embora eficientes, tomam-se altamente dispendiosas para regiões de grandes dimensões. Com o lançamento dos satélites da série Landsat, no início da década de 70, imagens digitais obtidas de plataformas orbitais têm sido usadas com sucesso em diversas aplicações, incluindo classificação da cobertura terrestre e mapeamento. Todavia, Colby (3) aponta que em áreas muito acidentadas, onde a distribuição e as condições de certos tipos de vegetação são fortemente correlacionadas com a topografia (elevação, declividade e aspecto), a análise dos dados digitais através de computadores não se tem mostrado tão eficaz na discriminação da cobertura terrestre quanto as obtidas em terrenos relativamente planos.

Segundo Hoffer et al. (7), problemas na classificação digital de dados multispectrais surgem porque os sensores remotos a bordo dos satélites registram a informação sob ângulos de iluminação constantes e quase verticais em relação ao nadir local. Em terrenos planos, todos os materiais são vistos pelo sensor com ângulos de iluminação constantes, fazendo com que os efeitos causados pelo comportamento de espalhamento

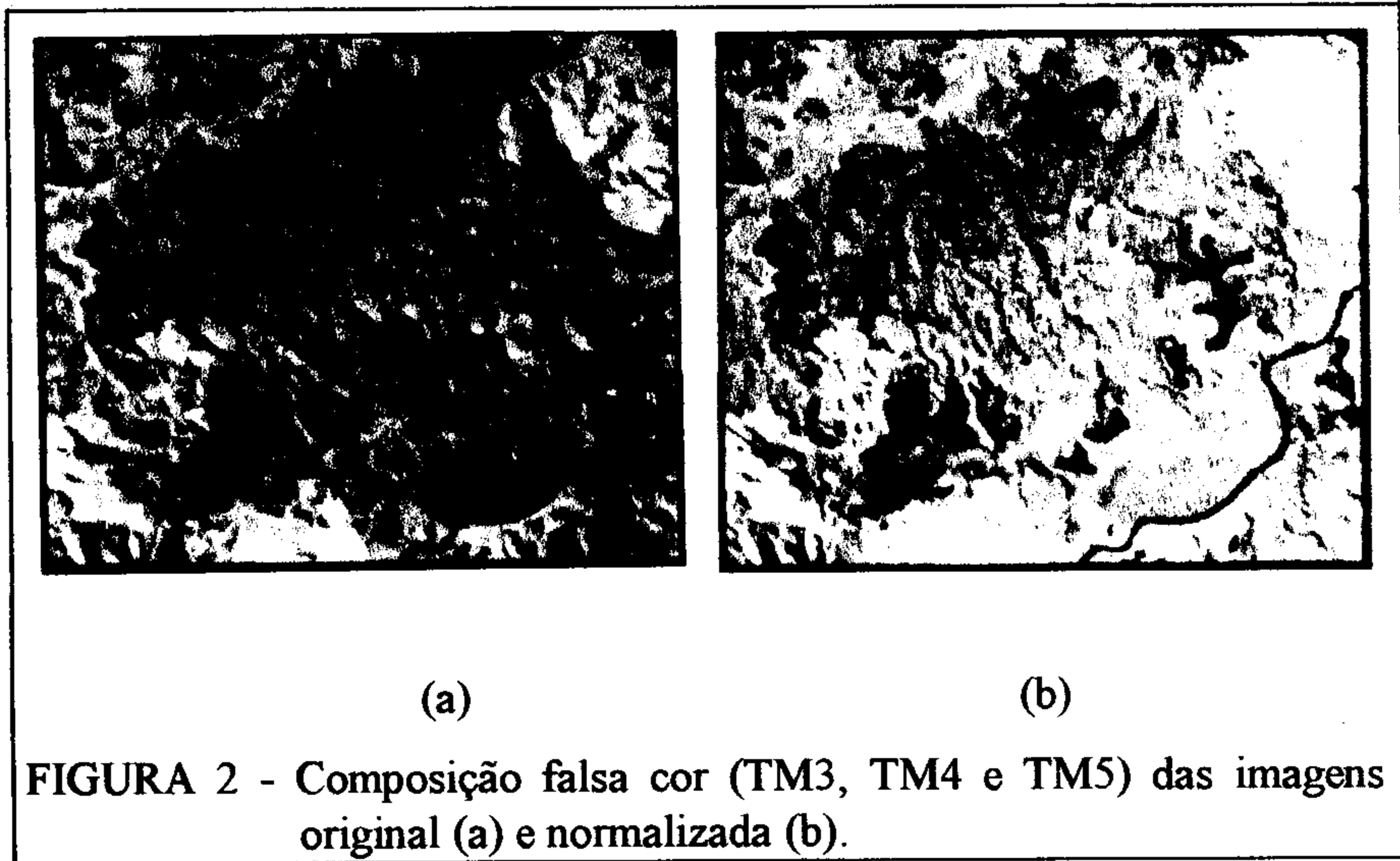
direcional das superfícies das cenas sejam minimizados durante a classificação. Em terrenos montanhosos, a superfície local varia e os materiais são vistos pelo sensor com grande variação de ângulos de iluminação, criando enormes áreas sombreadas sobre a imagem. Dessa forma, as respostas espectrais destas áreas sombreadas são diferentes, mascarando a discriminação e, conseqüentemente, reduzindo a precisão da classificação.

Para reduzir os efeitos topográficos e gerar imagens com propriedades de respostas espectrais mais uniformes, várias técnicas de normalização topográfica têm sido desenvolvidas, especialmente para os dados multiespectrais gerados pelos sensores a bordo do Landsat e SPOT (2, 3). Estas técnicas podem ser divididas em duas categorias: a primeira usa o método da razão de canais, a qual não faz nenhuma referência em relação ao comportamento físico dos elementos da cena (6); a segunda é responsável pelo espalhamento lambertiano e não-lambertiano dos elementos da cena. Os aspectos negativos associados com os efeitos topográficos são corrigidos quando se modificam os valores de radiância da superfície registrados pelos sensores remotos usando o co-seno do ângulo de iluminação efetiva. A declividade e o aspecto de cada elemento da cena são requeridos para calcular o ângulo de incidência efetiva (9). Embora estas técnicas tenham sido eficientes na redução dos efeitos topográficos em terrenos montanhosos, é preciso ter em mente que estes efeitos não podem ser removidos completamente em regiões de áreas fortemente sombreadas, tais como vales profundos (8).

Vários estudos têm demonstrado o potencial do uso de modelo digital do terreno para corrigir efeitos topográficos em imagens multiespectrais obtidas de terrenos montanhosos, permitindo a geração de imagens com propriedades de respostas multiespectrais mais uniformes. Civco (2) desenvolveu uma técnica em dois estádios para remover o efeito topográfico de imagens TM/Landsat, usando um modelo de elevação digital. Os resultados mostraram que a técnica de normalização contribuiu para a redução da variância introduzida pelo efeito topográfico em aproximadamente 69%. Fleming e Hoffer (4) combinaram imagens Landsat MSS e dados topográficos (elevação, declividade e aspecto) para melhorar a exatidão e confiabilidade de mapeamentos florestais em terrenos montanhosos e verificaram que a exatidão total foi melhorada em aproximadamente 15% quando comparada apenas com os dados multiespectrais.

Chiou et. al. (1) utilizaram quatro técnicas de normalização topográfica para corrigir os efeitos topográficos em uma região montanhosa localizada no Parque Nacional das Montanhas Rochosas, EUA. Os autores observaram que o

(parte de maior altitude da área) da imagem existiam várias áreas com sombreamento expressivos e que foram praticamente eliminados. A tonalidade cinza encontra-se mais homogênea e brilhante, enquanto as tonalidades escuras se restringiram praticamente aos lagos existentes na região. Visualmente, o MTCRP mostrou ser uma técnica eficiente para reduzir o efeito topográfico.



#### *Análise quantitativa*

Embora a análise qualitativa tenha mostrado visualmente uma redução do efeito de sombras na imagem normalizada, uma avaliação quantitativa foi também conduzida nas seis bandas das imagens original e normalizada utilizando-se as cinco principais coberturas previamente definidas na área de estudo. O algoritmo de classificação utilizado foi a da máxima verossimilhança, e o índice de exatidão global foi empregado na avaliação da exatidão de ambas as classificações e seus resultados são mostrados nos Quadros 2 e 3.

A análise do Quadro 2 indicou exatidão total de 79,54%. É importante observar que muitos dos erros de classificação ocorreram em classe similares como eucalipto jovem, eucalipto maduro e mata natural. A classe de eucalipto maduro foi a que apresentou o menor número de pixels corretamente classificados (71,36%). De um total de 831 pixels, 54 foram erroneamente classificados como eucalipto jovem e 138 como mata natural. Por sua vez, dos 524 pixels da classe de mata natural, 99 foram erroneamente classificados como eucalipto maduro. É importante ressaltar que as áreas sombreadas cobriram, na sua maior parte, plantações de eucalipto maduro e,

modelo Backward Radiance Correction Transformation (BRCT) foi o mais eficiente dos quatro modelos testados para reduzir o efeito topográfico. Ainda nesta mesma área, Colby (3) constatou que este modelo (BRCT) foi superior ao da razão entre bandas, para reduzir o efeito topográfico e melhorar a precisão da classificação da cobertura florestal local.

O presente trabalho teve como objetivo testar uma técnica de normalização topográfica para reduzir o efeito topográfico presente na imagem TM/Landsat, visando melhorar a precisão da classificação das coberturas terrestres localizadas em regiões montanhosas.

## MATERIAL E MÉTODOS

### *Área de estudo*

A região de estudo, localizada no Vale do Rio Doce, Estado de Minas Gerais, cobre uma área de aproximadamente 30.000 ha, com grande predominância de plantações de eucalipto. Segundo Golfari (5), esta região apresenta características de terreno relativamente acidentado, com elevações que variam de 150 a 600 metros, e média em torno de 350 metros (Figura 1).

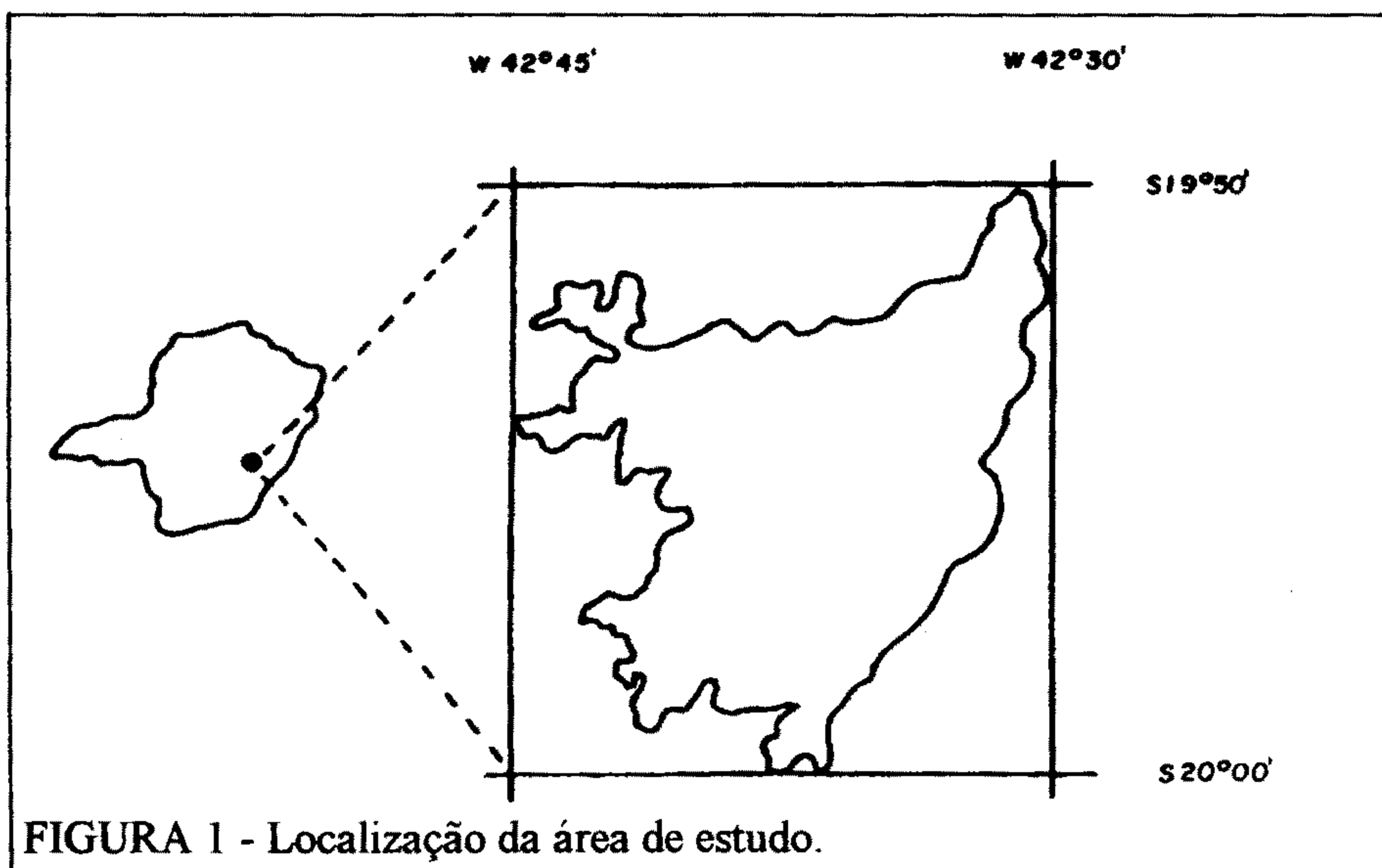


FIGURA 1 - Localização da área de estudo.

### *Imagens utilizadas*

Foram utilizadas neste estudo as seis bandas reflectivas do quadrante de uma imagem TM/Landsat, órbita/ponto (217/74S), obtida em 15 de julho de 1989. Estas bandas foram inicialmente submetidas a um processo de correção geométrica para corrigir distorções espaciais e, ao mesmo tempo, georreferenciá-las a um sistema de coordenadas UTM. Um modelo digital do terreno, com células de dimensões de 30 x 30 metros, foi

desenvolvido para a área de estudo a partir do método de interpolação de curvas de nível obtidas de uma carta topográfica, escala 1:100.000. As dimensões das células foram definidas para compatibilizar com as dimensões da imagem TM/Landsat, cujos pixels medem 30 x 30 metros, permitindo, dessa forma, uma superposição precisa das duas imagens.

Foram utilizados também fotografias aéreas em preto e branco, na escala 1:20.000, obtidas em outubro de 1989, e mapas detalhados dos plantios de eucaliptos e dados cadastrais mostrando as áreas plantadas e cortadas com as respectivas idades, permitindo, assim, determinar as idades dos povoamentos na época em que a imagem TM/Landsat foi obtida.

### *Normalização topográfica*

O processo de normalização topográfica utilizado neste estudo foi o Modelo de Transformação da Correção da Radiância Posterior (MTCRP), empregando-se uma constante Minnaert baseada numa suposição não-lambertiana. Este modelo requer várias informações como ângulo de elevação solar, ângulo azimutal, declividade, aspecto e elevação. Do cabeçalho da imagem TM/Landsat foram extraídos os ângulos de elevação solar (33°) e o ângulo azimutal (45°). As informações de declividade, aspecto e elevação foram extraídas da imagem de modelo digital do terreno. Um programa de computação foi desenvolvido especificamente para a normalização topográfica.

A constante de Minnaert,  $k$ , necessária ao modelo, foi derivada a partir da primeira linearização da seguinte equação:

$$L(\lambda, e) = L_n(\lambda) \cos^{k(\lambda)} i * \cos^{k(\lambda)-1} e$$

em que:

$L$  = radiância

$L_n$  = radiância quando  $i = e = 0$

$i$  = ângulo de incidência

$k$  = constante de Minnaert

$e$  = ângulo de excitância = declividade

$\lambda$  = comprimento de onda

Após a derivação de  $k$ , o valor da regressão de  $k$  foi obtido, usando-se as seguintes equações:

$$L * \cos e = L_n \cos^k i \cos^k e$$

e

$$\log (L * \cos e) = \log L_n + k \log(\cos i * \cos e)$$

Fazendo

$y = \log(L * \cos e)$ , a variável de resposta

$x = \log(\cos i * \cos e)$ , a variável independente

$b = \log(L_n)$ ,

obteve-se a forma linear  $y = kx + b$ . Ao se utilizar determinada quantidade de pixels selecionados da imagem usando o método da regressão, a inclinação da linha de regressão ou a constante de Minnaert,  $k$ , pode ser obtida. A equação de normalização do modelo de Transformação da Radiância Posterior é mostrada a seguir:

$$L_n = L \cdot \cos e / (\cos^k i \cos^k e)$$

O valor do  $\cos i$  pode ser derivado da seguinte equação:

$$\cos i = \cos \theta_s \cos \theta_n + \sin \theta_s \sin \theta_n \cos(\Phi_s - \Phi_n)$$

em que:

$\theta_s$  = ângulo solar zenital

$\theta_n$  = ângulo zenital normal à superfície ou declividade da superfície do terreno

$\Phi_s$  = ângulo solar azimutal

$\Phi_n$  = ângulo azimutal ou aspecto da superfície do terreno

Nesta pesquisa, 2.532 pixels, representando diferentes aspectos, declividades e sombras, foram selecionados e digitalizados através da área de estudo, para o cálculo da constante de Minnaert.

### *Procedimentos de classificação*

Após submeter a imagem TM/Landsat ao processo de normalização topográfica para reduzir os efeitos topográficos, ambas as imagens, original e normalizadas, foram submetidas a uma classificação automática supervisionada usando o algoritmo de máxima verossimilhança. Para este propósito, as cinco principais coberturas terrestres predominantes na área de estudo foram utilizadas, a saber: floresta natural, eucalipto maduro (acima de 12 meses), eucalipto jovem (abaixo de 12 meses), solo exposto e água.

Para avaliar as respostas espectrais das cinco coberturas terrestres, 50 polígonos foram selecionados e digitalizados através da área usando uma técnica supervisionada. Estes polígonos foram cuidadosamente selecionados para assegurar que eles representassem todas as cinco coberturas, procurando contemplar áreas com e sem sombras. Posteriormente, estes 50 polígonos foram casualmente divididos, sendo a metade usada como polígonos de treinamento nas classificações das imagens e a outra metade como polígonos de testes na validação das imagens classificadas. Nesta



etapa do processo, as fotografias aéreas foram de extrema importância para a identificação das cinco coberturas terrestres utilizadas nas análises.

### *Avaliação da normalização topográfica*

O êxito da técnica de normalização topográfica foi obtida através de avaliações qualitativas e quantitativas das imagens original e normalizada. A análise qualitativa foi baseada na análise visual das imagens impressas em papel fotográfico e na visualização em tela de monitor. A avaliação quantitativa foi realizada com base na exatidão total, a qual é calculada a partir de uma matriz de erros. Para o cálculo da exatidão total, dividiu-se o número de elementos presentes na diagonal da matriz pelo número total de elementos da matriz. Assim, duas matrizes de erros, uma para cada imagem, foram construídas usando os polígonos de testes, sendo suas exatidões totais comparadas pelo teste de Z a 99% de probabilidade, para verificar se houve diferenças significativas entre elas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### *Análise qualitativa*

As constantes de Minnaert usadas na normalização topográfica de todas as seis bandas são representadas no Quadro 1.

QUADRO 1 - Valores das constantes de Minnaert						
Bandas Espectrais	1	2	3	4	5	7
Constantes de Minnaert	0,11	0,157	0,290	0,489	0,705	0,387

A Figura 2 mostra composições falsa cor com as bandas TM3, TM4 e TM5, para as imagens original (a) e normalizada (b). Em ambas as imagens, a tonalidade cinza indica áreas com plantações de eucaliptos e mata natural, as cores cinza-escura e clara indicam áreas que sofreram recentes cortes-rasos (solos expostos) e as tonalidades bem escuras mostram corpos d'água e sombras. Análise da imagem original (a) revela uma topografia relativamente acidentada da área, principalmente na porção central e superior da imagem, o que pode ser comprovado pelas inúmeras e pequenas manchas escuras causadas pelo sombreamento e que, às vezes, se confundem com pequenos lagos. A análise da imagem normalizada (b) mostra a remoção da impressão do relevo devido à grande redução das tonalidades escuras da imagem. Por exemplo, na porção central e nordeste



em menor escala, eucalipto jovem, mata natural e solo exposto. Conforme mencionado anteriormente, quando se digitalizou cada classe, procurou-se abranger áreas sombreadas e não-sombreadas. Devido à maior representatividade da classe de eucalipto maduro em áreas sombreadas, nota-se que 40 pixels desta classe foram classificados como água, devido à maior similaridade espectral entre elas, isto é, sombra e água. Dentro deste raciocínio, 23 pixels da classe de eucalipto jovem, 19 da classe de mata natural e 14 da classe de solo exposto foram também classificados como água e provavelmente amostrados em áreas sombreadas. Como era de se esperar, a classe de água obteve o maior número de pixels corretamente classificados (93,89%), em razão de ser uma classe mais pura que as demais.

QUADRO 2 - Resultados da classificação para a imagem original TM/Landsat							
Imagem Classificada	Número de Pixels	%	Imagem de Referência				
			EJ	EM	FN	AG	SE
EJ	440	76,60	337	61	16	23	3
EM	831	71,36	54	593	138	40	6
FN	524	74,62	11	99	391	19	4
AG	426	93,89	6	12	6	400	2
SE	434	90,10	18	6	5	14	391
Total	2655						
Exatidão Total = $2112/2655 = 79,54\%$							
EJ - Eucalipto Jovem							
EM - Eucalipto Maduro							
FN - Floresta Natural							
AG - Água							
SE - Solo Exposto							

Observa-se pela análise do Quadro 3 uma exatidão total de 84,22%. No geral, o nível de pixels corretamente classificados aumentou em todas as classes. Porém, como já era esperado, esta melhoria foi mais pronunciada nas classes de eucalipto maduro, eucalipto jovem e mata natural, por se encontrarem em áreas mais acidentadas e, conseqüentemente, sujeitas a maior efeito de sombreamento. Nota-se, para a classe de eucalipto maduro, que o número de pixels corretamente classificados passou de 71,36% para 77,38% e o número de pixels erroneamente classificados como água foi reduzido de 40 para 8. A mesma tendência ocorreu com as classes de eucalipto jovem, mata natural e solo exposto. As classes de água e solo exposto foram as que sofreram menores alterações, com os números de pixels corretamente classificados passando de 93,89% para 95,07% e de 90,10% para 91,24%, respectivamente.

**QUADRO 3 - Resultados da classificação para a imagem normalizada TM/Landsat**

Imagem Classificada	Número de Pixels	% Cor	Imagem de Referência				
			EJ	EM	FN	AG	SE
EJ	440	83,64	368	52	14	4	2
EM	831	77,38	57	643	116	8	7
FN	524	80,92	10	83	424	2	5
AG	426	95,07	4	11	5	405	1
SE	434	91,24	15	7	5	11	396
<b>Total</b>	<b>2655</b>						

Exatidão Total =  $2236/2655 = 84,22\%$

EJ - Eucalipto Jovem

EM - Eucalipto Maduro

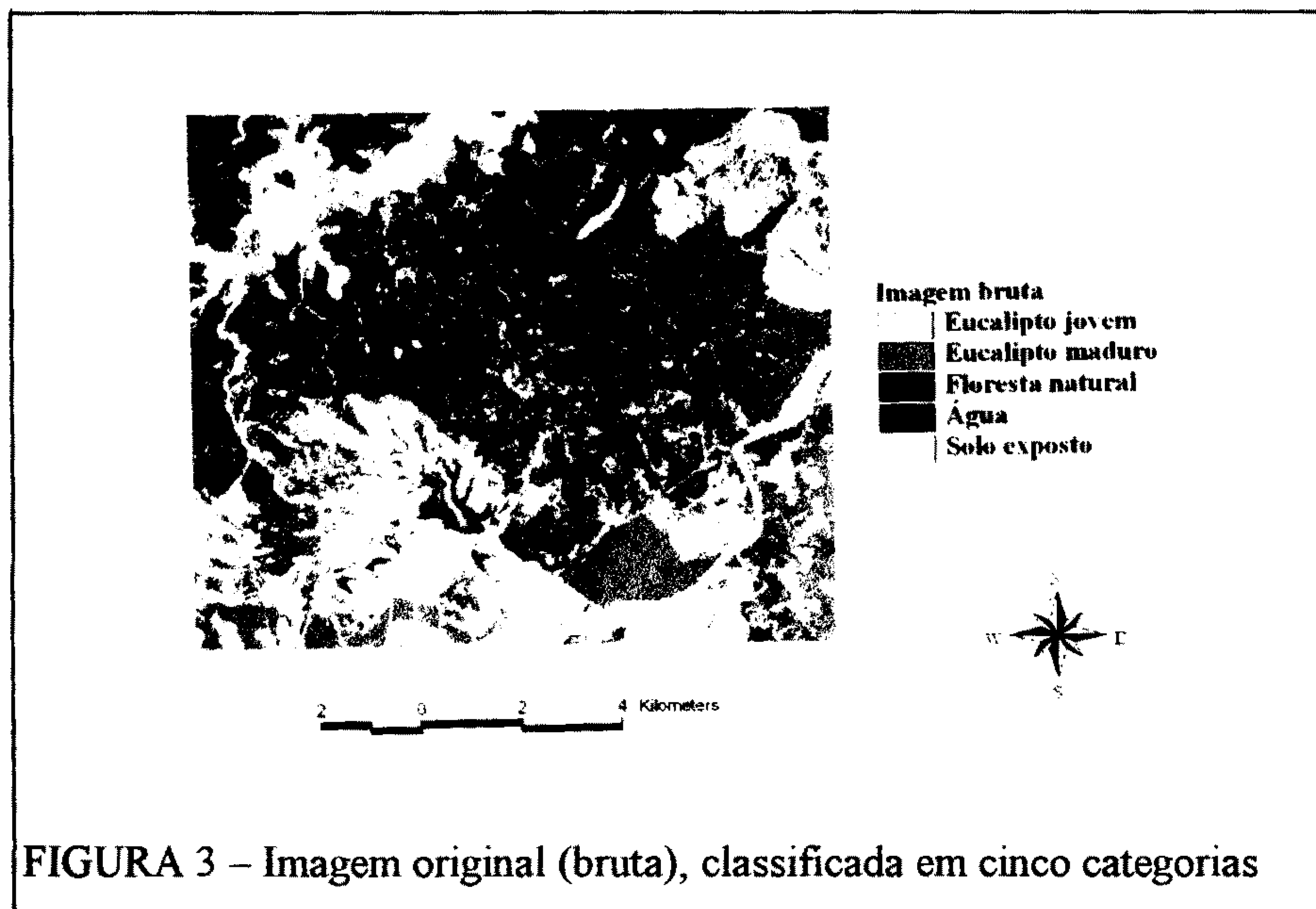
FN - Floresta Natural

AG - Água

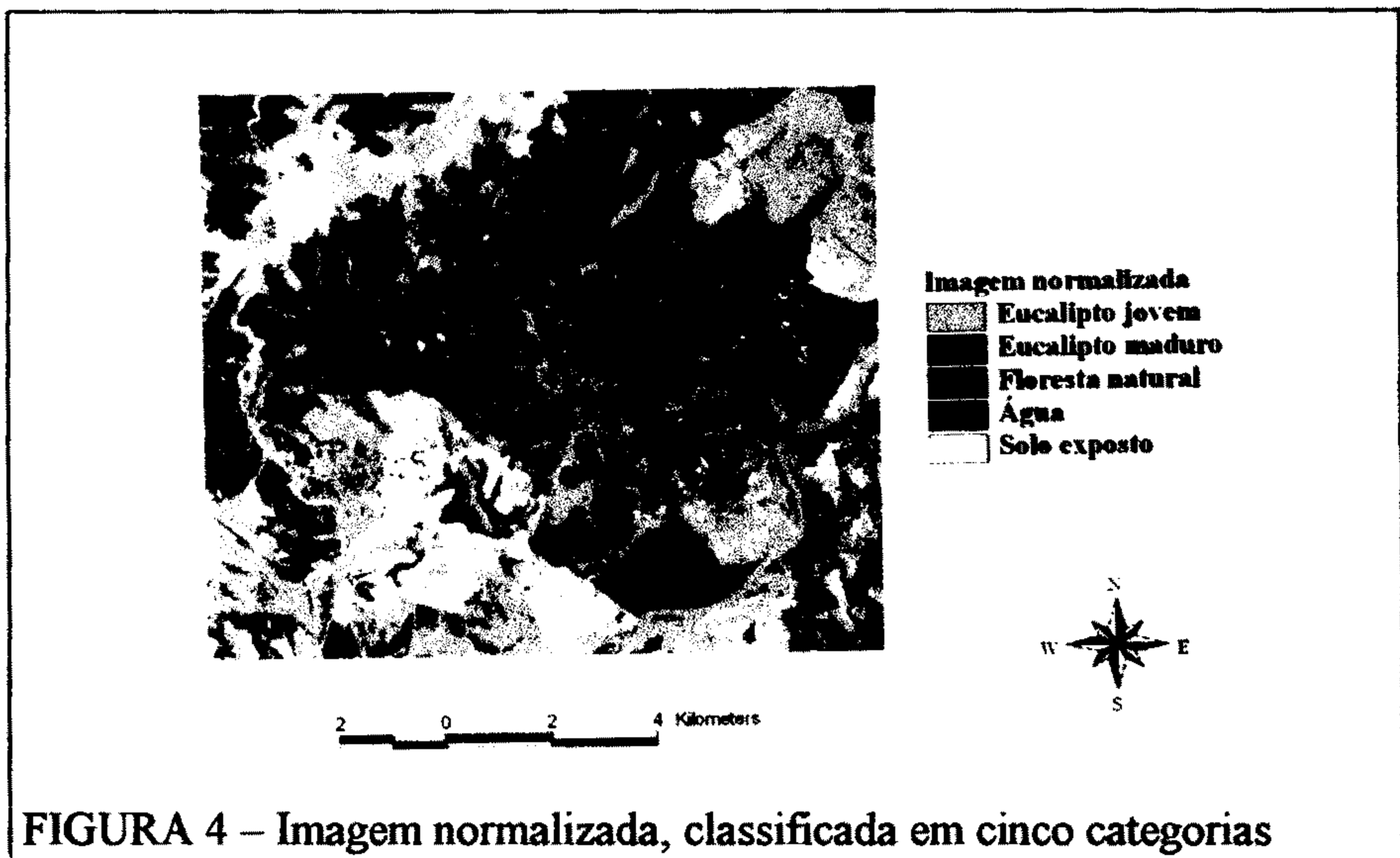
SE - Solo Exposto

As exatidões totais de 79,54% e 84,22%, respectivamente, para as imagens original e normalizada, quando se usou o teste de Z a 99% de probabilidade, não apresentaram diferenças significativas entre si, embora um ganho de 4,68% tenha sido alcançado pela imagem normalizada.

As Figuras 3 e 4 mostram, respectivamente, as imagens classificadas como original (bruta) e normalizada.



**FIGURA 3 – Imagem original (bruta), classificada em cinco categorias**



## CONCLUSÕES

a) A análise qualitativa mostrou que o uso do modelo Backward Radiance Correction Transformation (BRCT) gerou uma imagem normalizada com substancial redução de sombras.

b) A análise quantitativa mostrou que as imagens original e normalizada apresentaram, respectivamente, exatidões totais de 79,54% e 85,65%. Quando submetidas ao teste estatístico Z a 99% de probabilidade, não houve diferença significativa entre as exatidões totais.

c) Um aumento de 4,68% na exatidão total foi alcançado com a imagem normalizada em comparação à imagem original.

## REFERÊNCIAS

1. CHIOU, C. R.; THOMAS, V. L. & HOFFER, R. M. 1992. Comparison of four techniques for topographic normalization of Landsat TM data. Proceedings of the 1992 ASPRS/ACSM/RT Convention, Washington., 1992. Proceedings, Washington D.C., USA, 1992. p. 185-96,
2. CIVCO, D. Topographic normalization of Landsat Thematic Mapper Imagery. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 55: 1303-9, 1989.
3. COLBY, J. D. Topographic normalization in rugged terrain. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 57: 531-7, 1991.
4. FLEMING, M. D. & HOFFER, R. M. Machine processing of Landsat MSS data and DMA topographic data for forest cover type mapping. In: Machine Processing of Remotely Sensed Data Symposium, West Lafayette, 1979. Proceedings, West Lafayette, USA, 1979. p. 377-90.

5. GOLFARI, L. Zoneamento ecológico do Estado de Minas Gerais para o reflorestamento. Belo Horizonte, Centro de Pesquisas do IBDF na Região do Cerrado, 1975. 65 p. (Série Técnica no. 3).
6. HART, T. Reduction of topographic shadow effects in Landsat by division of mean brightness. Fort Collins, Earth Resources Department, Colorado State University, 1978. 80 p. (M. S. thesis).
7. HOFFER, R. M.; FLEMING, M.D. & BARTOLUCCL, L. A. Natural resources mapping in mountainous terrain by computer analysis of ERTS-1 satellite data. West Lafayette, Purdue University, 1975. 124 p. (LARS Information Note 061575).
8. KAWATA, Y.; UENO, S & KUSAKA, T. Radiometric correction atmospheric and topographic effects on Landsat MSS images. *International Journal of Remote Sensing*, 9: 729-48, 1988.
9. SMITH, J.; LIN, T. & RANSON, K. The Lambertian assumption and Landsat data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 46: 1183-9, 1980.