

AVALIAÇÃO DE ALGORITMOS PARA DETECÇÃO DE MUDANÇAS DA COBERTURA TERRESTRE, USANDO IMAGENS TM/LANDSAT-5, NA ILHA DO FORMOSO, ESTADO DO TOCANTINS¹

Alan-Kardec Elias MARTINS²

Vicente Paulo SOARES³

Elpídio Inácio FERNANDES FILHO⁴

Ricardo Seixas BRITES⁵

RESUMO: Quatro bandas do sensor TM/Landsat-5 (2,3,4 e 5), órbita-ponto 223/068 - obtidas em 1984 e as outras em 1998, foram utilizadas para avaliar mudanças ocorridas na cobertura da terra, na área de estudo localizada na Ilha do Formoso, Estado de Tocantins, Brasil. As técnicas da diferença e da razão entre bandas foram usadas nas análises, sendo os resultados avaliados quantitativa e qualitativamente. Verificam-se que estas técnicas foram eficientes na discriminação das classes de mudanças e de não-mudança com ligeira superioridade para as bandas transformadas 3 e 5.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: Sensoriamento Remoto, Detecção de Mudança.

LAND COVER CHANGE IN THE FORMOSO ISLAND, STATE OF TOCANTINS, BRAZIL, USING LANDSAT TM-5 DATA

ABSTRACT: Four bands of Landsat-5 TM data, four obtained in 1984 and the other ones in 1998, were used to determine major land cover changes in a study site at Formoso Island, Tocantins State, Brazil. Image difference and rationing change detection techniques were used in the study. Results showed that all eight transformed bands were effective in detecting the major cover type changes, mainly in the transformed bands 3 and 5.

INDEX TERMS: Remote Sensing, Cover Detection.

¹ Aprovado para publicação em 06.11.03.

Extraído da Dissertação apresentada pelo primeiro autor ao curso de Mestrado em Ciência Florestal – UFV em 1999.

² Geógrafo, Doutorando da Universidade Federal de Viçosa. Professor da Fundação Universidade do Tocantins – UNITINS – Rua Prof. Carlos Socias. 09 Bairro Clélia Bernardes – CEP 36570-000 Viçosa (MG)

³ Engenheiro Florestal, Ph.D., Professor Adjunto da Universidade Federal de Viçosa

⁴ Engenheiro Agrônomo, D.S., Professor Adjunto da Universidade Federal de Viçosa

⁵ Engenheiro Agrimensor, D.S., Professor da Universidade Católica de Brasília.

1 INTRODUÇÃO

As técnicas de sensoriamento remoto vêm sendo amplamente utilizadas desde a década de 70 (MA; REDMOND, 1995), trazendo grande contribuição para o mapeamento e monitoramento dos recursos naturais. Os satélites orbitais, que propiciam coberturas repetitivas em intervalos relativamente curtos, têm-se tornado uma das principais ferramentas de detecção de mudanças da paisagem de uma dada região. Crosta, Roig e Elvidge (1995) afirmam que alterações na superfície terrestre, significativas ou não, podem ser detectadas por diversas técnicas, dentre as quais citam-se as detecções por meio de técnicas de análises visuais e digitais.

Segundo Câmara e Medeiros (1996), a técnica de interpretação visual explora ao máximo o aspecto temporal das bandas de satélite, levando em conta os aspectos textural e espectral, retratando as possíveis causas que promovem as alterações em uma dada região, além dos critérios espectral e temporal. São utilizados, também, para auxiliar na identificação das feições, os elementos fotointerpretativos descritos para fotografias aéreas, como: padrão, textura, forma de relevo, tonalidade e arranjo espacial.

Vários algoritmos de detecção de mudanças têm sido usados com dados multitemporais. A seleção de um algoritmo pelo analista depende de vários fatores, como o conhecimento das características culturais e biofísicas da área de estudo, a precisão com que as bandas multitemporais são registradas, o grau de flexibilidade e

disponibilidade do algoritmo etc. (JENSEN, 1986). Dentre estes destacam-se, pela simplicidade de implementação e eficiência, os algoritmos da diferença e razão entre bandas.

Diversos estudos têm sido conduzidos na avaliação de técnicas de detecção de mudanças das feições presentes na cobertura terrestre. Soares, Brites e Ribeiro (1998) avaliaram mudanças em povoamentos de eucaliptos e outras coberturas no Vale do Rio Doce, Minas Gerais. Nesse estudo, a técnica de detecção de mudanças usando a análise dos componentes principais foi superior à técnica de índice de vegetação. Já Carrilho, Soares e Valério Filho (1996) afirmam que a aplicação de imagens de sensoriamento remoto no monitoramento da cobertura vegetal do solo requer interpretação repetida e comparação das classes de cobertura em datas diferentes, sendo possível detectar automaticamente as áreas onde tenham ocorrido as mudanças.

O objetivo deste trabalho foi avaliar metodologias de detecção de mudanças ocorridas na cobertura vegetal da Ilha do Formoso, município de Lagoa da Confusão (TO), utilizando bandas multitemporais TM/Landsat obtidas nos anos de 1984 e 1998.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área objeto deste estudo localiza-se no município de Lagoa da Confusão (TO), nas bacias hidrográficas dos rios Urubu e Formoso, distante 60 km da BR-153, cujo acesso é feito pelo município de Nova

Rosalândia, por meio da rodovia TO-255. É uma ilha de, aproximadamente, 13 000 ha, formada pelos rios Dueré, Urubu e Formoso, nas proximidades da Ilha do Bananal. A área do projeto situa-se entre os paralelos 10°45'S e 11°00'S e os meridianos 49°45'W e 49°52'W. É ocupada por posseiros há mais de 15 anos, tendo as primeiras lavouras de subsistência se iniciado na década de 80.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Imagem de satélite

Para a aquisição dos dados do presente estudo, foram utilizadas duas imagens digitais do satélite TM/Landsat-5 (*Thematic Mapper*), órbita 223, ponto 68, quadrante B, obtidas em 25 de junho de 1984 e 2 de julho de 1998. Os dados das imagens para as bandas 2, 3, 4 e 5 estão caracterizados no Quadro 1.

2.2.2 Carta planialtimétrica

Foi utilizada como apoio para a definição da área de estudo e localização dos alvos quando da checagem de campo a Carta Planialtimétrica, folha Lagoa da Confusão

(SC.22-Z-A-VI), elaborada a partir de fotografias aéreas de 1968 do AST - 10/USAF (BRASIL. Ministério do Exército. Diretoria de Serviço Geográfico, 1979).

2.2.3 Receptores Global Positioning System - GPS

O receptor GPS usado na identificação e aquisição das coordenadas dos pontos de controle no terreno e pontos amostrais correspondentes às diferentes feições foi o *Geoexplorer II* da Trimble, submétrico.

2.2.4 Sistemas computacionais e equipamentos utilizados

Para a entrada e o processamento de dados que geraram as informações espaciais, foram utilizados dois *softwares* (*CartaLinx* e *IDRISI W 2.0*), ambos desenvolvidos pelo Departamento de Geografia da Clark University, Massachussets, EUA. Todos os programas utilizados foram compatibilizados em um microcomputador AMD K6 II 500 MHz 5.0 GB/64 MB de memória. Os periféricos utilizados foram: *scanner* Asaki 9600 dpi, monitor alfanumérico VGA color 15" e impressora colorida *HP Deskjet 850C*.

Quadro 1 - Características do Sensor TM/Landsat Thematic Mapper - Bandas 2, 3, 4 e 5

Banda	Comprimento de onda (μm)	Região espectral	Resolução espacial (m)
2	0,52 – 0,60	Verde	30
3	0,63 – 0,69	Vermelho	30
4	0,76 – 0,90	IV - Próximo	30
5	1,55 – 1,75	IV - Intermediário	30

2.3 CARACTERÍSTICAS DAS BANDAS TM/LANDSAT-5

Este trabalho foi efetuado usando dois conjuntos de bandas TM/Landsat-5, datadas de 25 de junho de 1984 e 2 de julho de 1998, órbita-ponto 223/068.

As bandas 1, 6 e 7, correspondentes, respectivamente, à região do azul (0,45-0,52 μm), do infravermelho termal (10,4-12,6 μm) e do infravermelho intermediário (2,08-2,3 μm), foram excluídas em ambas as imagens, reduzindo-se a quatro bandas espectrais, sendo duas na região do visível, uma na região do infravermelho próximo e outra na região do infravermelho médio.

As duas imagens TM/Landsat-5 foram corrigidas geometricamente, georreferenciadas e reamostradas sobre uma rede de 30 m. Neste estudo, a imagem de 1998 foi inicialmente retificada, utilizando-se 16 pontos de controle coletados utilizando um GPS (Global Positioning System), *Geoexplorer II* da Trimble submétrico, com apoio de uma carta topográfica de escala 1:100.000 e uma composição colorida no formato analógico 3 4 5 (RGB) do ano de 1996 na escala 1:100.000. Após retificada, a imagem de 1998 foi usada como controle para o registro da imagem obtida em 1984, sendo utilizados os mesmos 16 pontos de controle. Em ambas as retificações foi empregado o método da interpolação do vizinho mais próximo, já que este é um processo eficiente computacionalmente, uma vez que não altera o valor de brilho do pixel (JENSEN, 1986). Terminado o processo de retificação, obteve-se um erro

médio quadrático de 0,49 pixel na primeira retificação e de 0,47 pixel na segunda, o que representa um erro aproximado de 15m em ambas as imagens.

As bandas multitemporais também foram normalizadas para minimizar as mudanças nos seus valores de brilho, devido à calibração do detector, ao ângulo do Sol, à atenuação atmosférica e ao ângulo da base entre as datas. A técnica utilizada neste trabalho foi baseada em modelos de regressão linear simples entre as bandas (HOFFER, 1978).

2.4. ANÁLISE DOS DADOS

O Quadro 2 mostra os seis tipos de cobertura usados nas análises de mudanças.

De posse da imagem de 1984 (Figura 1), verificou-se que praticamente toda a área se encontrava coberta de florestas. Nessa época foi iniciada a ocupação da área pelos posseiros, dando-se início à utilização do solo para lavouras de subsistência. Já na imagem de 1998 (Figura 2), vários níveis de mudanças foram identificados, a saber:

Solo Exposto 1 - solo desprovido da cobertura vegetal, que se encontra em processo de voçorocamento. Localizado, principalmente, às margens dos rios, apresenta-se com uma tonalidade mais clara, o que permite que a resposta espectral seja determinada pelo solo.

Solo Exposto 2 - solo com cobertura esparsa de gramíneas. Esta unidade apresenta-se com uma tonalidade cinza-clara; a exposição do solo contribui com a resposta espectral do alvo.

Quadro 2 - Tipos de cobertura usados na análise de detecção de mudanças

Número de classes	Imagem de 1984	Imagem de 1998	Classe de mudança
1	Floresta	Solo Exposto 1	Floresta/solo exposto1
2	Floresta	Solo Exposto 2	Floresta/solo exposto2
3	Floresta	Solo Exposto 3	Floresta/solo exposto3
4	Floresta	Área Agrícola	Floresta/agrícola
5	Floresta	Capoeira	Floresta/capoeira
6	Floresta	Pastagem	Floresta/pastagem



Figura 1 - Composição colorida bandas 2, 4 e 5 na Ilha do Formoso, Município de Lagoa da Confusão, Estado do Tocantins. Imagem 1984.

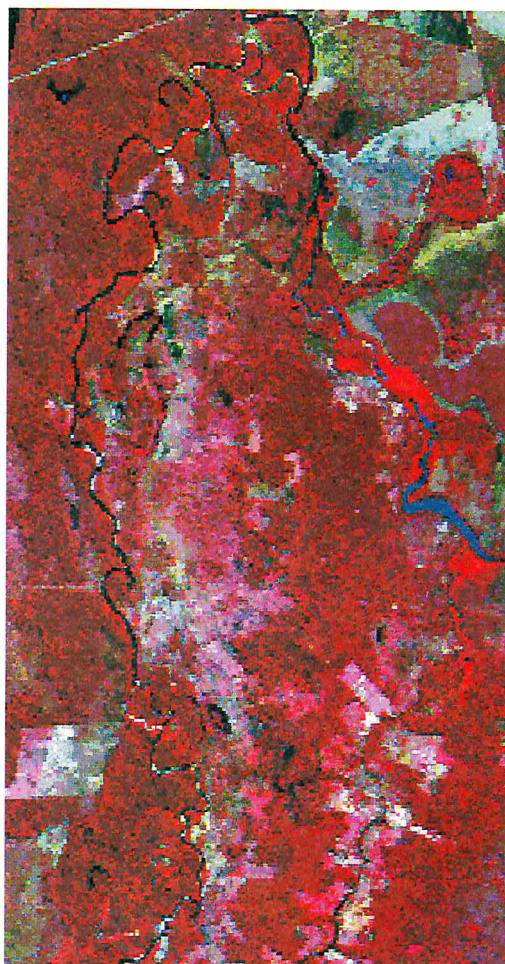


Figura 2 - Composição colorida bandas 2, 4 e 5 na Ilha do Formoso, Município de Lagoa da Confusão, Estado do Tocantins. Imagem 1998.

Solo Exposto 3 - esta unidade apresenta tonalidade cinza-clara, com espessura rugosa característica da presença de arbusto, a qual varia de acordo com o número existente. Apresenta-se em estágio inicial de degradação.

Área Agrícola - esta unidade apresenta-se com aspecto de forma geométrica, com tonalidade cinza-média.

Capoeira - apresenta-se com tonalidade cinza-média e aspecto de feições geométricas por ter sido área agrícola.

Pastagem - apresenta-se de forma geométrica, com tonalidade cinza-escuro, mal definida e de forma irregular.

Contribuiu para essa caracterização uma visita a campo feita durante o mês de julho de 1998, mesma data da obtenção da imagem.

As técnicas de detecção de mudanças utilizadas neste estudo foram as da diferença e da razão entre bandas

Na técnica da diferença entre bandas, quatro bandas transformadas foram obtidas pela subtração dos valores de pixels dentro de uma banda particular da imagem de 1998, dos correspondentes valores de pixels da mesma banda da imagem de 1984. A equação para o cálculo da diferença entre as bandas é dada a seguir (CAMPBELL, 1987):

$$X_{ijk} = VB_{ijk} 1998 - VB_{ijk} 1984 + 255$$

em que

X_{ijk} = valor da diferença entre canais;

I = linha;

J = coluna;

K = banda da imagem;

VB_{ijk} = valor do nível de cinza do pixel; e

255 = constante somada para produzir uma imagem positiva.

Verifica-se, pela equação anterior, que os valores dos pixels resultantes da subtração podem gerar valores positivos e negativos. Portanto, uma constante foi acrescentada à equação para produzir uma banda transformada com valores positivos, assumindo uma variação dinâmica de 256 tons de cinza. Nesse sentido, os valores de brilho dos pixels nas bandas transformadas podem variar de 0 a 510, com os valores próximos de 255, indicando regiões de nenhuma mudança (BOWKER et al, 1985).

Na técnica da razão entre bandas, quatro bandas transformadas foram obtidas pela divisão dos valores de pixels dentro de uma banda particular da imagem de 1998, dos correspondentes valores de pixels da mesma banda da imagem de 1984. A equação da razão entre bandas é (CAMPBELL, 1987):

$$R_{ijk} = (VB_{ijk} 1998 / VB_{ijk} 1984) \times 60$$

em que

R_{ijk} = razão multitemporal;

VB_{ijk} = valor do nível de cinza do pixel;

I = linha;

J = coluna;

K = banda da imagem; e

60 = constante.

Os valores dos pixels resultantes da razão entre as bandas foram multiplicados por uma constante de 60, com o propósito de realçá-los e, conseqüentemente, facilitar as análises das bandas transformadas. Dessa forma, valores próximos de 60 são indicativos de nenhuma mudança. A eficiência destas técnicas de detecção de mudanças foi baseada nas avaliações quantitativas e qualitativas das oito bandas transformadas, descritas a seguir.

2.5. AVALIAÇÃO DAS TÉCNICAS DE DETECÇÃO DE MUDANÇAS

A avaliação qualitativa foi baseada na análise visual, em tela do monitor, de todas as oito bandas transformadas (diferença e razão), obedecendo aos seguintes padrões de análise visual: forma, textura e tons de cinza. A avaliação quantitativa, por sua vez, baseou-se nas médias das classes de mudanças obtidas de dez polígonos, cada um contendo dez pixels, totalizando 100 pixels por classe. Essas médias foram plotadas e analisadas em formatos gráficos e também submetidas a testes estatísticos a 95% de probabilidade.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 AVALIAÇÃO QUALITATIVA

3.1.1 Diferença entre bandas

As quatro bandas transformadas por meio desta técnica são mostradas na Figura 3. Nesta figura nota-se, em cada banda transformada, que os tons de branco e cinza-claro representam áreas onde ocorreram mudanças entre 1984 e 1998, enquanto os tons de cinza-escuro representam áreas sem mudança. As tonalidades brancas representam mudanças da classe de floresta para as de pastagem, solo exposto 1, solo exposto 2, solo exposto 3 e área agrícola. As tonalidades cinza-claras representam mudanças da classe de floresta para a de capoeira.

A análise visual das bandas mostradas na Figura 3 indica que as bandas transformadas 2, 3 e 5 possibilitaram, de maneira clara, a separação das classes de mudanças

em relação à de não-mudança, com ligeira superioridade para as bandas 3 (melhor contraste entre os tons claros e escuros) e 5. A banda 4 mostrou ser relativamente pobre para diferenciar as áreas de mudanças das de não-mudança, por causa do baixo contraste tonal entre elas, com exceção de pequenas áreas que ficaram muito escuras nesta. A provável explicação para esse comportamento da tonalidade pode ser baseada no fato de a vegetação ter menor reflectância que o solo no visível (bandas 2 e 3) e no infravermelho médio (banda 5), porém ela é maior na banda do infravermelho próximo (banda 4), causando inversão de reflectância desta região, em comparação com as regiões do visível e do infravermelho médio.

3.1.2 Razão entre bandas

Nesta avaliação, em cada banda transformada, os tons de branco e cinza-claro representam áreas onde ocorreram mudanças entre 1984 e 1998, enquanto os de cinza-escuro estão representando as áreas onde não houve mudanças. Os tons de branco representam áreas de mudanças de floresta para pastagem, solo exposto 3 e área agrícola. As tonalidades cinza-médio representam mudanças de classes de floresta para as de capoeira e pastagem (Figura 4).

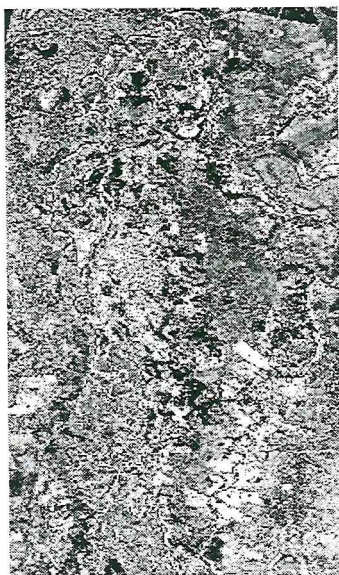
A análise das bandas transformadas evidenciou o mesmo comportamento verificado na técnica anterior, isto é, as bandas transformadas 2, 3 e 5 mostraram, visualmente, ser superiores à banda 4 na discriminação entre as classes de mudanças e a de não-mudança.



a) Banda 2



b) Banda 3



a) Banda 4



b) Banda 5

Figura 3 - Resultado da diferença entre as imagens de 1984 e 1998 na Ilha do Formoso, Município de Lagoa da Confusão Estado do Tocantins.



a) Banda 2



b) Banda 3



a) Banda 4



b) Banda 5

Figura 4 - Resultado da razão entre as imagens de 1984 e 1998 na Ilha do Formoso, Município de Lagoa da Confusão Estado do Tocantins.

3.2 AVALIAÇÃO QUANTITATIVA

3.2.1 Diferença entre bandas

Inicialmente, foi avaliada a técnica da diferença entre bandas. Conforme mencionado anteriormente, seis classes de mudanças foram definidas: solo exposto 1, solo exposto 2, solo exposto 3, área agrícola, capoeira e pastagem. A classe de não-mudança inclui a categoria floresta.

Para a avaliação quantitativa, calculou-se a média dos valores digitais dos 100 pixels obtidos de dez polígonos, para cada classe, em todas as bandas usadas neste estudo. Em seguida, os valores digitais médios de cada banda da imagem de 1984 foram subtraídos dos respectivos valores digitais médios da imagem de 1998 e adicionados a uma constante de 255, para evitar valores negativos. Conseqüen-

temente, os valores próximos de 255 indicam a não-ocorrência de mudanças.

Após a subtração, os valores digitais médios das classes de mudança e não-mudança, para as quatro bandas transformadas, foram plotados em um gráfico, conforme pode ser observado na Figura 5. A análise desta figura indicou que as classes de mudança estão localizadas acima da zona de não-mudança, com exceção das classes agrícola e solo exposto 3, que se encontram abaixo na banda transformada 4. Os valores digitais médios para a classe de não-mudança nas bandas transformadas 2 e 3 encontram-se um pouco abaixo do valor indicado para não-mudança (próximo a 255), ao passo que nas bandas transformadas 4 e 5 eles se encontram mais próximos.

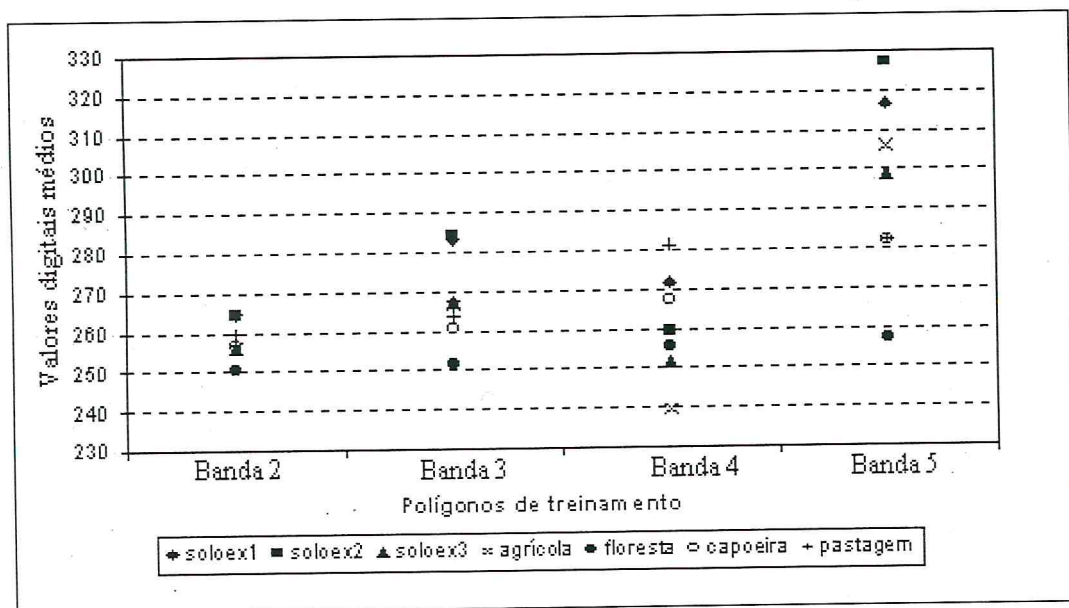


Figura 5 - Valores digitais médios para técnica da diferença entre imagens de 1984 e 1998 na Ilha do Formoso, Município de Lagoa da Confusão, Estado do Tocantins.

A possível razão para os valores se encontrarem um pouco abaixo da zona de não-mudança, para as bandas transformadas 2 e 3 (região visível), é que talvez os efeitos atmosféricos não tenham sido completamente removidos durante a etapa de normalização e, conseqüentemente, tenham afetado os valores de brilho nas diferentes datas, visto que os efeitos atmosféricos aumentam com a redução do comprimento de onda. Já no caso das bandas do infravermelho (4 e 5), a influência atmosférica é muito pequena e, provavelmente, tenha sido removida na normalização (BOWKER et al., 1985).

Uma análise geral da Figura 5 indica que a melhor separação das classes de mudança em relação à de não-mudança ocorreu na banda transformada 5, sendo a pior a da banda 2.

Em vez de simplesmente analisar a tendência de distribuição dos valores digitais no formato gráfico, decidiu-se pela aplicação do teste t nas médias das bandas transformadas 2, 3, 4 e 5, tomando como testemunha a feição floresta e definindo-a como classe de não-mudança.

Esta análise mostra que há diferenças significativas entre as médias das classes de mudança e não-mudança, a 5% de probabilidade, ou seja, há diferenças entre as seguintes comparações: floresta/solo exposto 1, floresta/solo exposto 2, floresta/solo exposto 3, floresta/área agrícola, floresta/capoeira e floresta/pastagem.

3.2.2 Razão entre bandas

Na seqüência, foi analisada a técnica da razão entre imagem. As classes de mudança definidas foram as mesmas da técnica da diferença entre bandas.

Para avaliação quantitativa, calculou-se a média dos valores digitais dos 100 pixels obtidos de dez polígonos para cada classe presente na área de estudo. A classe de não-mudança estabelecida foi a de floresta.

Os valores digitais médios de cada banda da imagem de 1998 foram divididos pelos mesmos valores da imagem de 1984 e multiplicados por uma constante no valor de 60, para aumentar o contraste entre as feições. Conseqüentemente, os valores próximos de 60 estão indicando a área de não-mudança.

Após a divisão, os valores digitais médios das classes de mudança e não-mudança foram plotados em um gráfico, conforme pode ser observado na Figura 6. Pela análise desta figura, nota-se um comportamento similar ao verificado no algoritmo da diferença entre bandas.

Todas as classes de mudança, com exceção de classe agrícola e solo exposto 3 na banda transformada 4, localizaram-se acima da zona de não-mudança. Novamente, os valores digitais médios para a classe de não-mudança nas bandas transformadas 2 e 3 encontram-se abaixo do valor indicado para não-mudança (valor próximo de 60), enquanto nas bandas 4 e 5 eles se encontram mais próximos. A possível razão para esse comportamento pode ser a não-remoção total dos efeitos atmosféricos nestas bandas durante a normalização, como discutido anteriormente.

Uma análise geral da Figura 6 indica que a melhor separação das classes de mudanças, em relação à de não-mudança, ocorreu nas bandas transformadas 3 e 5. Já nas bandas transformadas 2 e 4 essas separações foram inferiores.

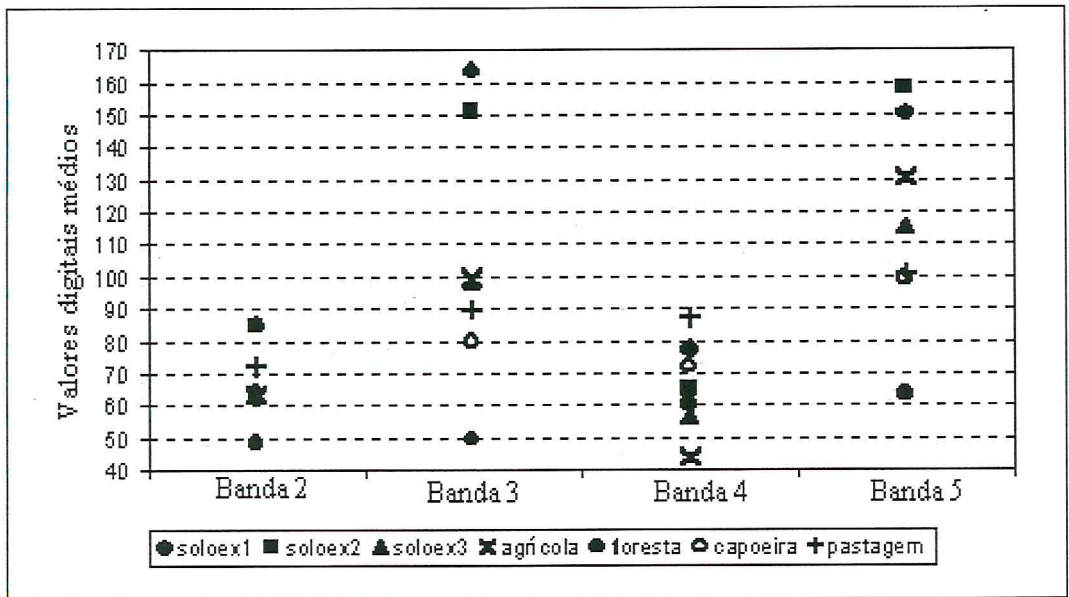


Figura 6 - Valores digitais médios para técnica da Razão entre imagens de 1984 e 1998 na Ilha do Formoso, Município de Lagoa da Confusão, Estado do Tocantins.

Além da análise visual gráfica, as médias dos valores digitais foram também submetidas ao teste t, tendo a classe de floresta (não-mudança) sido usada como testemunha. Os resultados dos testes também indicaram a existência de diferenças significativas pelo teste t, entre as médias das classes de mudança e da classe de não-mudança, a 5% de probabilidade.

Nota-se, portanto, uma tendência de superioridade da banda transformada 5 na discriminação das classes de mudança e não-mudança entre os dois algoritmos de detecção de mudanças utilizados, embora o teste t tenha mostrado diferenças significativas entre todas as bandas. Esses resultados foram semelhantes aos encontrados por Soares e Hoffer (1997).

4 CONCLUSÃO

- A análise qualitativa (visual), usando as técnicas de diferença e razão entre bandas, mostrou que as bandas transformadas 2, 3 e 5 foram eficientes na discriminação das classes de mudanças e de não-mudança, com ligeira superioridade para as bandas 3 e 5; já a banda 4 demonstrou ser ineficiente na separação das classes.
- A análise quantitativa (numérica), usando a técnica de diferença entre bandas, mostrou que, graficamente, as classes de mudança e de não-mudança foram melhores discriminadas usando a banda transformada 5, embora o teste t tenha evidenciado diferenças significativas entre todas as classes analisadas nas quatro bandas transformadas.

Baseando-se nas duas técnicas, a banda transformada 5 deu indicação de superioridade, tanto qualitativa quanto quantitativamente, na discriminação das classes de mudança e não-mudança.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOWKER, D.E.; DAVIS, R.E.; MYRICK, D.L.; STACY, K.; JONES, W.T. *Spectral reflectances of natural targets for Use in remote sensing studies*. Hampton, 1985 (NASA Reference Publication, 1139).
- BRASIL. Ministério do Exército. Diretoria de Serviço Geográfico. *Folha SC. 22. ZA. VI Lagoa da Confusão*. Rio de Janeiro, 1979. Escala 1:100.000.
- CÂMARA, G.; MEDEIROS, J.S. *GIS para o meio ambiente*. [Curitiba]: Sagres, 1996. 139p. (GIS Brasil, 1996).
- CAMPBELL, J.B. *Introduction to remote sensing*. New York: Guilford Press, 1987. 551p.
- CARRILHO, J.Z.; SOARES, J.V.; VALÉRIO FILHO, M. Detecção automática de mudanças como recurso auxiliar no monitoramento da cobertura do terreno. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., 1996, Salvador. *Anais...* Salvador:[s. n.], 1996. CD-ROM.
- CROSTA, A.P.; ROIG, H.L.; ELVIDGE, C.D. Multitemporal image analysis applied to environmental monitoring in the Brazilian Amazon. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO DE PERCEPCIÓN REMOTA, 7., 1995, Puerto Vallata. *Analís...* Puerto Vallata, 1995.
- HOFFER, R.M. Biological and physical considerations in applying computer-aided analysis techniques to remote sensor data In: REMOTE sensing the quantitative approach McGraw-hill all from laboratory for applications of remote sensing. West Lafayette: Purdue University, 1978. p.227-289.
- JENSEN, J.R. *Introductory digital image processing: a remote sensing perspective*. 2nd ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1986. 316p.
- MA, Z.; REDMOND, R.L. Tau coefficients for accuracy assessment of classification of sensing data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Bethesda, v.61, n.4, p.435-439, 1995.
- SOARES, V.P.; HOFFER, R.M. Detecção de mudanças em plantações de *Eucalyptus spp.* Utilizando imagens TM/LANDSAT-5. *Revista Ceres*, v. 20, n. 1, p. 346-357, 1997.
- _____; BRITES, R.S.; RIBEIRO, C. A.A.S. Avaliação da mudança da cobertura em áreas reflorestadas usando razão de bandas de imagem de satélite *Revista Cerne*, v. 4, n. 1, p. 22-33, 1998.