

DETECÇÃO DE MUDANÇAS EM PLANTAÇÕES DE *EUCALYPTUS* SPP. UTILIZANDO IMAGENS TM/LANDSAT-5¹

Vicente Paulo Soares²
Roger M. Hoffer³

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, os sistemas de sensoriamento remoto têm sido amplamente utilizados na discriminação, no mapeamento e monitoramento dos recursos naturais. Uma das principais aplicações de dados obtidos remotamente a partir de satélites orbitais, que propiciam coberturas repetitivas em intervalos relativamente curtos, é a detecção de mudanças da vegetação de determinada área. SINGH (5) afirma que as imagens temporais são muito úteis nos estudos de detecção de estresse e desfolhamento de culturas agrícolas e áreas florestais causados por doenças e ataques de insetos, mudanças sazonais na produção de pastagens, estudos fenológicos, etc.

Vários estudos têm sido conduzidos na avaliação de mudanças da vegetação. NELSON (4) utilizou três técnicas de detecção de mudanças - razão entre bandas, diferença entre bandas e índice de vegetação da diferença normalizada - para detectar mudanças do dossel florestal devidas ao ataque de insetos, usando imagens Landsat MSS. Resultados mostraram que a técnica do índice de vegetação da diferença normalizada foi superior às outras duas. HOFFER e LEE (2) conduziram um trabalho utilizando

¹ Aceito para publicação em 03.03.1997.

² Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa. 36571-000. Viçosa, Minas Gerais.

³ Department of Forest Sciences, Colorado State University. 80523, Fort Collins, CO, USA.

imagens de radar SEASAT e SIR-B para avaliar mudanças em plantações de *Pinus* spp. Eles verificaram que categorias mais amplas (corte raso, reflorestamento e áreas sem mudanças) puderam ser detectadas com boa precisão (83,4%). Usando a técnica de detecção de mudanças denominada classificação espectral/temporal, SOARES e HOFFER (6) encontraram uma alta exatidão total (90,6%) ao avaliar mudanças em plantações de *Eucalyptus* spp. na região do Vale do Rio Doce-MG.

Este trabalho teve como objetivo detectar mudanças em plantações de *Eucalyptus* spp. e outras coberturas utilizando imagens multitemporais TM/Landsat.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização e Caracterização da Área de Estudo

Esse trabalho foi conduzido no Município de Dionísio, na região do Vale do Rio Doce, MG, numa área pertencente à Companhia Agrícola e Florestal Santa Bárbara (CAF). Compreende parte da imagem TM/Landsat-5 de órbita 217 e ponto 74. Essa região cobre uma área de aproximadamente 30.000 ha, com grande predomínio de reflorestamento de eucaliptos. Outras coberturas presentes na área incluem pastagens, lagoas, rios e solos expostos. Segundo GOLFARI (1), a região apresenta características de terreno relativamente acidentado, com elevação variando de 150 a 600 metros e média em torno de 350 metros.

2.2. Materiais Utilizados

Os dados utilizados neste estudo incluíram as imagens TM de duas passagens do satélite Landsat-5 obtidas em 1989 e 1992. As imagens correspondentes ao infravermelho termal foram excluídas das análises, ficando cada passagem reduzida a seis imagens espectrais. Dados de referência utilizados para suportar as análises incluíram fotografias aéreas em preto e branco, na escala 1:20.000, obtidas em 1989; cartas topográficas, na escala 1:100.000; mapas dos talhões de plantação de eucaliptos; e dados cadastrais informando quando ocorreram os cortes e plantios, permitindo assim a determinação da idade dos povoamentos na época em que cada passagem foi feita.

2.3. Processamento e Análise dos Dados

As imagens das duas passagens foram corrigidas geometricamente,

registradas e reamostradas em uma rede de 30 metros. Segundo HOFFER e LEE (3), quando se trabalha com dados multitemporais, é importante que se consiga uma boa georreferenciação das imagens, pois os pixels correspondentes às mesmas localizações terrestres serão comparados uns com os outros.

Em seguida, todas as imagens foram submetidas a um processo de equalização de histogramas, de forma que pudessem ter a mesma amplitude de distribuição dos valores de brilho, isto é, os maiores e menores valores pudessem ser equivalentes.

Após o pré-processamento e registro, as imagens das duas passagens foram submetidas à análise dos componentes principais e à técnica do índice de vegetação da diferença normalizada. A técnica dos componentes principais é derivada da matriz de covariância entre as bandas e gera um novo conjunto de imagens em que cada valor de pixel é uma combinação linear dos valores originais. O número de componentes principais é igual ao número de bandas espectrais utilizadas e estas são ordenadas de acordo com o decréscimo da variância de nível de cinza. Essa técnica tem como vantagem a redução ou a remoção da redundância (correlação entre bandas), gerando um novo conjunto de imagens cujas bandas individuais são independentes. Ela é também útil para reduzir a dimensionalidade do número de bandas. No caso de imagens TM Landsat, pode-se reduzir de sete para duas ou três bandas e ainda manter aproximadamente 90,0% da variância.

Os resultados das novas componentes principais são mostrados nos Quadros 1 e 2. Pela análise desses quadros, nota-se que as três primeiras componentes principais das imagens de 1989 e 1992 preservaram, respectivamente, 94,52% e 93,60% de suas variâncias originais e foram, portanto, utilizadas na análise de detecção de mudanças.

Como foi mencionado, as imagens equivalentes às bandas 3 e 4, obtidas em 1989 e 1992, foram também submetidas à técnica do índice de vegetação da diferença normalizada, pela seguinte equação:

$$IVDN = (B4 - B3) / (B4 + B3)$$

em que IVDN - Índice de Vegetação da Diferença Normalizada

B3 - Banda 3 (0,63 - 0,69 μ m)

B4 - Banda 4 (0,76 - 0,90 μ m)

Em seguida, todas as imagens transformadas pelas técnicas componentes principais e índice de vegetação da diferença normalizada de 1989 foram subtraídas de suas respectivas imagens transformadas de 1992, e as imagens resultantes foram utilizadas nas análises posteriores. Os valores dos pixels resultantes das subtrações podem gerar valores positivos e negativos. Dessa forma, uma constante de 255 foi adicionada

aos resultados para produzir imagens com valores não-negativos, tendo uma variação dinâmica de 256 tons cinzas. Assim, valores de pixels das imagens resultantes das três primeiras componentes principais (CP1, CP2 e CP3) e do índice de vegetação da diferença normalizada (IVDN) podem variar de 0 a 510, sendo os valores próximos de 255 indicadores de regiões de nenhuma mudança.

QUADRO 1 - Autovalores e variâncias das imagens obtidas em 1989

Bandas	Autovalores	Variâncias (%)	Total (%)
1	22576,30	69,29	69,29
2	5576,65	17,11	86,40
3	2644,62	8,12	94,52
4	922,21	2,85	97,37
5	518,28	1,59	98,96
6	338,43	1,04	100,00

QUADRO 2 - Autovalores e variâncias das imagens obtidas em 1992

Bandas	Autovalores	Variâncias (%)	Total (%)
1	22051,58	67,54	67,54
2	5599,15	17,45	84,99
3	2812,69	8,61	93,60
4	1117,45	3,42	97,03
5	643,09	1,97	99,00
6	327,96	1,00	100,00

Para o propósito das análises, foram utilizadas 26 classes de idade (meses) de plantações de eucaliptos, juntamente com solos expostos, lagoas e rio. Eucaliptos com idades inferiores a 12 meses foram denominados eucaliptos jovens e aqueles acima desta idade eucaliptos maduros. Esta nomenclatura foi baseada no fato de que eucaliptos atingem um fechamento de copa quase completo após 12 meses de idade. Com base em suas similaridades espectrais, as 30 classes foram combinadas em oito classes, conforme Quadro 3.

A eficiência das imagens resultantes das CP1, CP2, CP3 e dos IVDN's foi avaliada qualitativa e quantitativamente. A análise qualitativa

QUADRO 3 - Características das classes de mudanças e não-mudanças

1989	Idade (meses)		1992	Idade (meses)
Corte raso	0	Para	Eucalipto maduro	34-38
Eucalipto jovem	5-9	“	Eucalipto maduro	43-47
Eucalipto maduro	91	“	Corte raso	0
Eucalipto maduro	66	“	Eucalipto jovem	8
Eucalipto maduro	13-62	“	Eucalipto maduro	51-100
Solo exposto	-	“	Solo exposto	-
Lagoa	-	“	Lagoa	-
Rio	-	“	Rio	-

foi baseada na análise visual das imagens mostradas em monitor e impressas em papel. A análise quantitativa foi baseada na exatidão total dos valores digitais médios, calculados a partir de 170 polígonos digitalizados dentro da área de estudo, sendo a metade deles usada como polígonos de treinamento e a outra metade como polígonos de teste.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As imagens resultantes das CP1, CP2, CP3 e do IVDN são mostradas na Figura 1. Nota-se em cada imagem que os tons brancos e escuros representam áreas onde ocorreram mudanças entre 1989 e 1992, enquanto os tons intermediários de cinza representam áreas sem mudanças.

Análise visual das imagens, Figura 1, indicou claramente que a imagem resultante das CP1 foi superior às outras três imagens na indicação de áreas sem mudanças e onde ocorreram mudanças entre os dois períodos analisados. As imagens resultantes das CP2 e dos IVDN foram efetivas na identificação de mudanças em algumas áreas, porém falharam em outras, principalmente na porção direita das imagens. Já a imagem resultante das CP3 mostrou estar bastante salpicada, não sendo, portanto, efetiva para o estudo da detecção de mudanças na área estudada. Pelo fato de a avaliação visual ser muito subjetiva, é aconselhável que se faça uma análise quantitativa das respectivas imagens para se ter mais subsídios para escolher a melhor imagem.

Para a avaliação quantitativa, calculou-se a média dos valores digitais dos pixels dentro de cada um dos 85 polígonos de treinamento. Em seguida, eles foram agrupados dentro das classes de mudança e não-mudança nas imagens transformadas de 1989 e 1992. Pelo fato de a

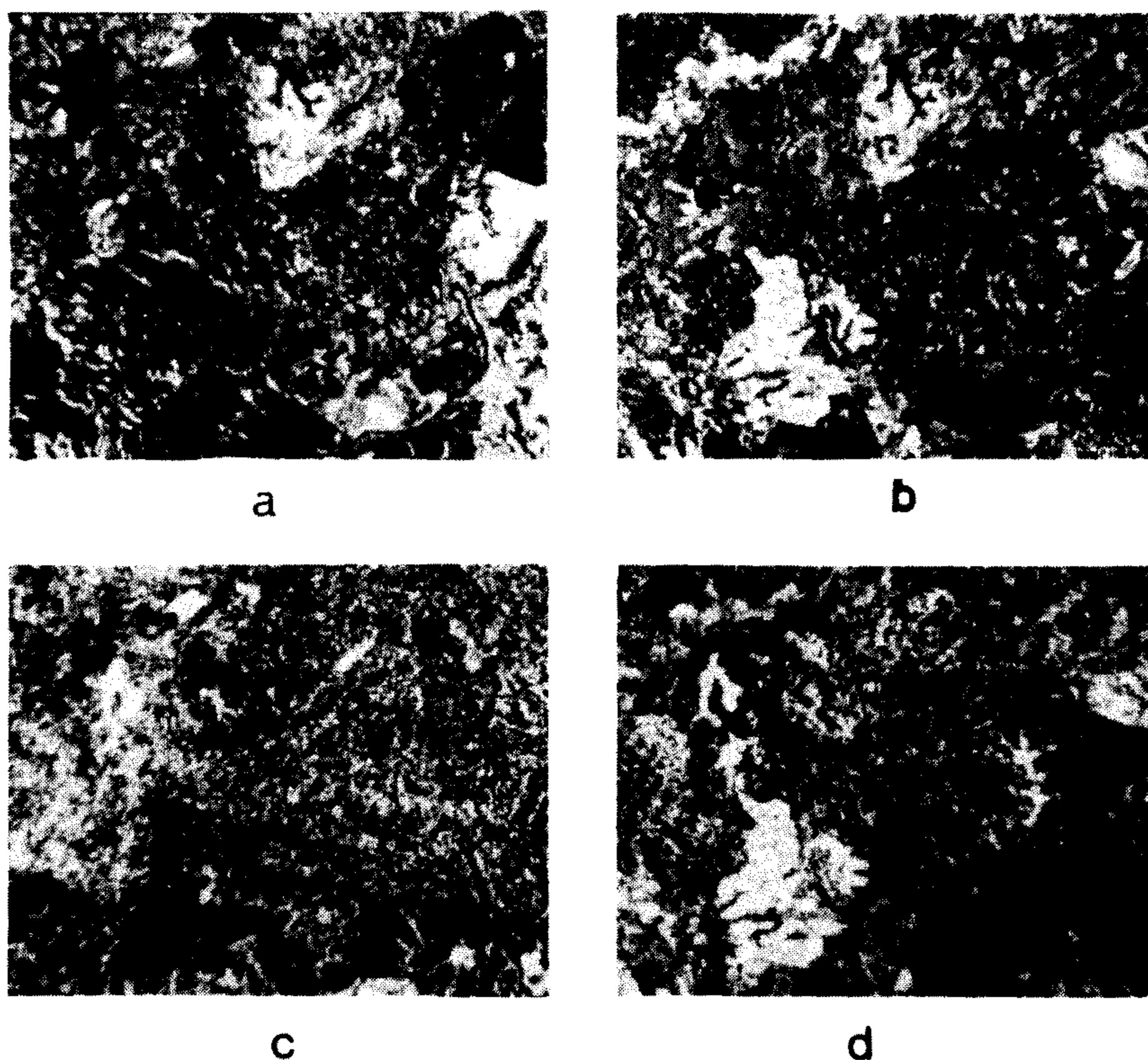


FIGURA 1 - Imagens resultantes das CP1 (a), CP2 (b), CP3 (c) e IVDN (d).

imagem resultante das CP3 ter sido muito pobre na avaliação visual, ela não foi considerada na avaliação quantitativa.

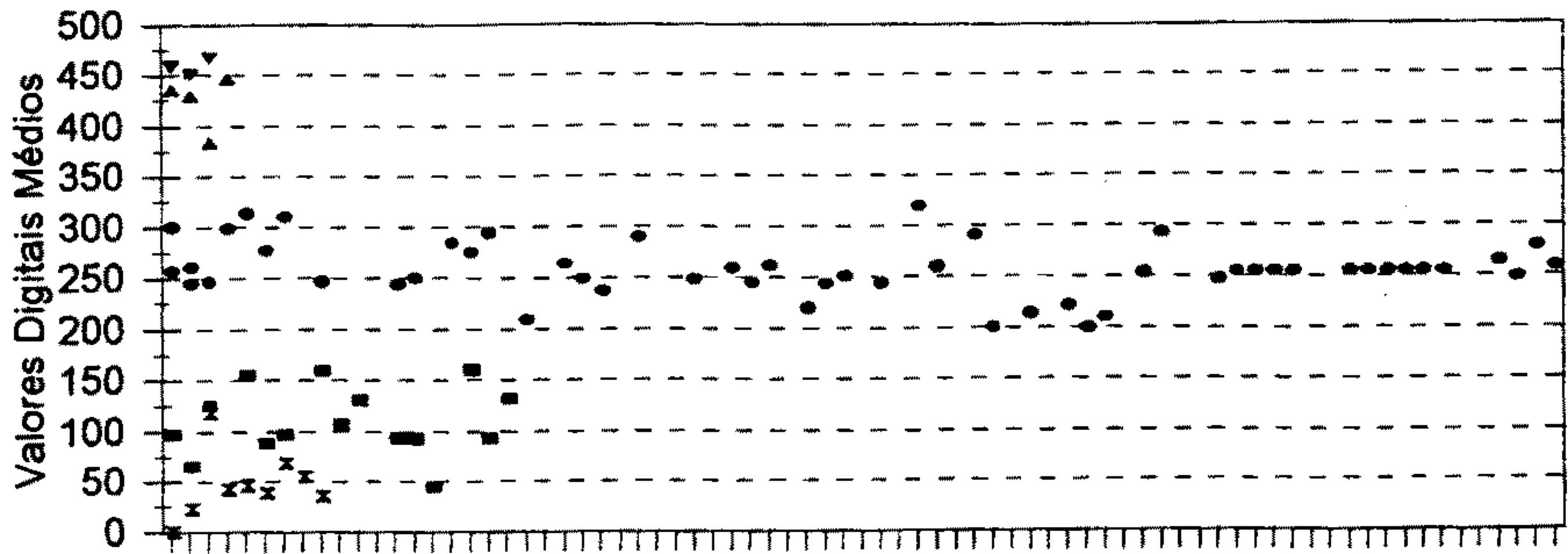
Para efeito de análise, quatro classes de mudança e uma de não-mudança foram definidas. As classes de mudanças foram: corte raso/eucalipto maduro, eucalipto jovem/eucalipto maduro, eucalipto maduro/corte raso e eucalipto maduro/eucalipto jovem. A classe de não-mudança incluiu as classes de eucalipto maduro/eucalipto maduro, solo exposto/solo exposto, lagoa/lagoa e rio/rio. Os valores digitais médios das imagens transformadas de 1989 foram subtraídos de seus respectivos valores digitais médios das imagens de 1992 e adicionados de uma constante de 255 para evitar valores negativos. Dessa forma, valores próximos de 255 são indicativos de nenhuma mudança.

Após a subtração, os valores digitais médios para cada imagem resultante foram plotados em gráficos. As Figuras 2, 3 e 4 mostram,

respectivamente, os gráficos oriundos das imagens resultantes das CP1, CP2 e IVDN. A análise da Figura 2 indica que os valores digitais médios para a classe de não-mudança encontram-se localizados na zona de não-mudança, próximos a 255. As classes de mudança eucalipto maduro/corte raso e eucalipto maduro/eucalipto jovem estão localizadas acima da zona de não-mudança, enquanto as classes corte raso/eucalipto maduro e eucalipto jovem/eucalipto maduro estão abaixo desta zona. Nota-se ainda nesta Figura que todas as classes foram bem discriminadas, dando a indicação de que os valores digitais médios obtidos da imagem resultante das CP1 foram eficientes na detecção de mudança entre os dois períodos analisados.

Pelas análises das Figuras 3 e 4, nota-se que as classes de mudanças corte raso/eucalipto maduro e eucalipto maduro/corte raso estão localizadas nos lados opostos da zona de não-mudança. Esta inversão foi baseada no fato de que as imagens que as geraram trazem informações da radiação infravermelha próxima. Nesta região, a vegetação tem maior reflectância do que o solo, o que gerou uma inversão nos valores digitais para estas duas classes. Nota-se pela análise da Figura 3 que a classe de eucalipto jovem/eucalipto maduro misturou-se completamente com a classe de não-mudança, embora as classes corte raso/eucalipto maduro e eucalipto maduro/corte raso tenham tido uma boa separação das demais classes. A análise da Figura 4 mostra que, além das classes eucalipto jovem/eucalipto maduro, as classes eucalipto maduro/eucalipto jovem também se misturaram com a classe de não-mudança, mostrando baixa eficiência da imagem resultante dos IVDN.

Além de analisar a tendência de distribuição dos valores digitais nos gráficos, definiu-se pelo estabelecimento de limiares, com o objetivo de maximizar a diferenciação entre todas as classes, de mudanças e de não-mudança. Os limiares foram definidos com base na análise visual da distribuição dos valores digitais médios mostrados nas Figuras 2, 3 e 4 e seus valores se encontram no Quadro 4. Baseado nesses limiares, matrizes de erros foram preparadas para as imagens resultantes das CP1, CP2 e IDVN, com os valores digitais médios obtidos dos polígonos de testes. As exatidões totais mostradas no Quadro 5 foram calculadas pela divisão do número de polígonos classificados corretamente dentro de cada classe individual pelo número total de polígonos. A análise do Quadro 5 indica que a imagem resultante das CP1 (94,1% de exatidão) foi superior à imagem resultante das CP2 (78,8%) e à imagem resultante dos IVDN (72,9%) na discriminação entre as classes de mudanças e a classe de não-mudança, bem como entre as classes individuais de mudanças. Na imagem resultante das CP1, todas as classes apresentaram boa exatidão, variando de 75,0% para as classes de corte raso/eucalipto maduro a



Polígonos de Treinamento

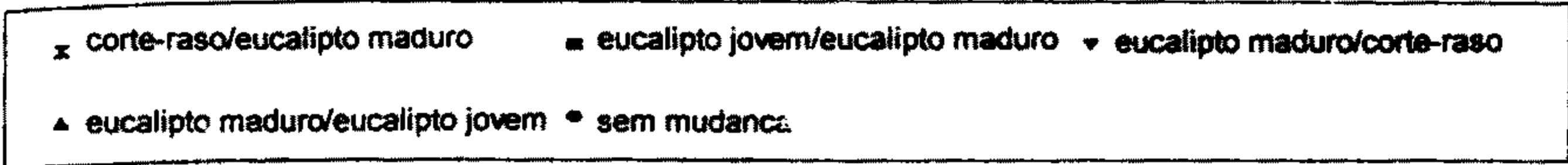
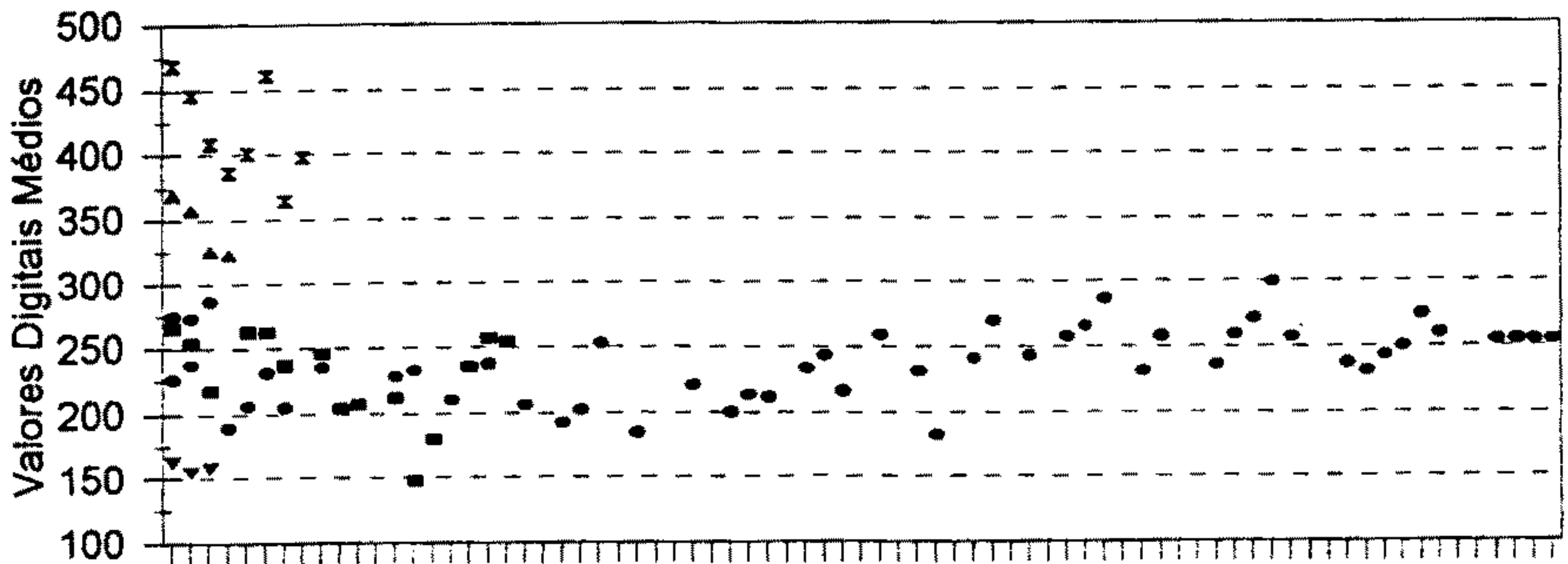


FIGURA 2 - Valores digitais médios da imagem resultante das CP1 obtidos dos 85 polígonos de treinamento.



Polígonos de Treinamento



FIGURA 3 - Valores digitais médios da imagem resultante das CP2 obtidos dos 85 polígonos de treinamento.

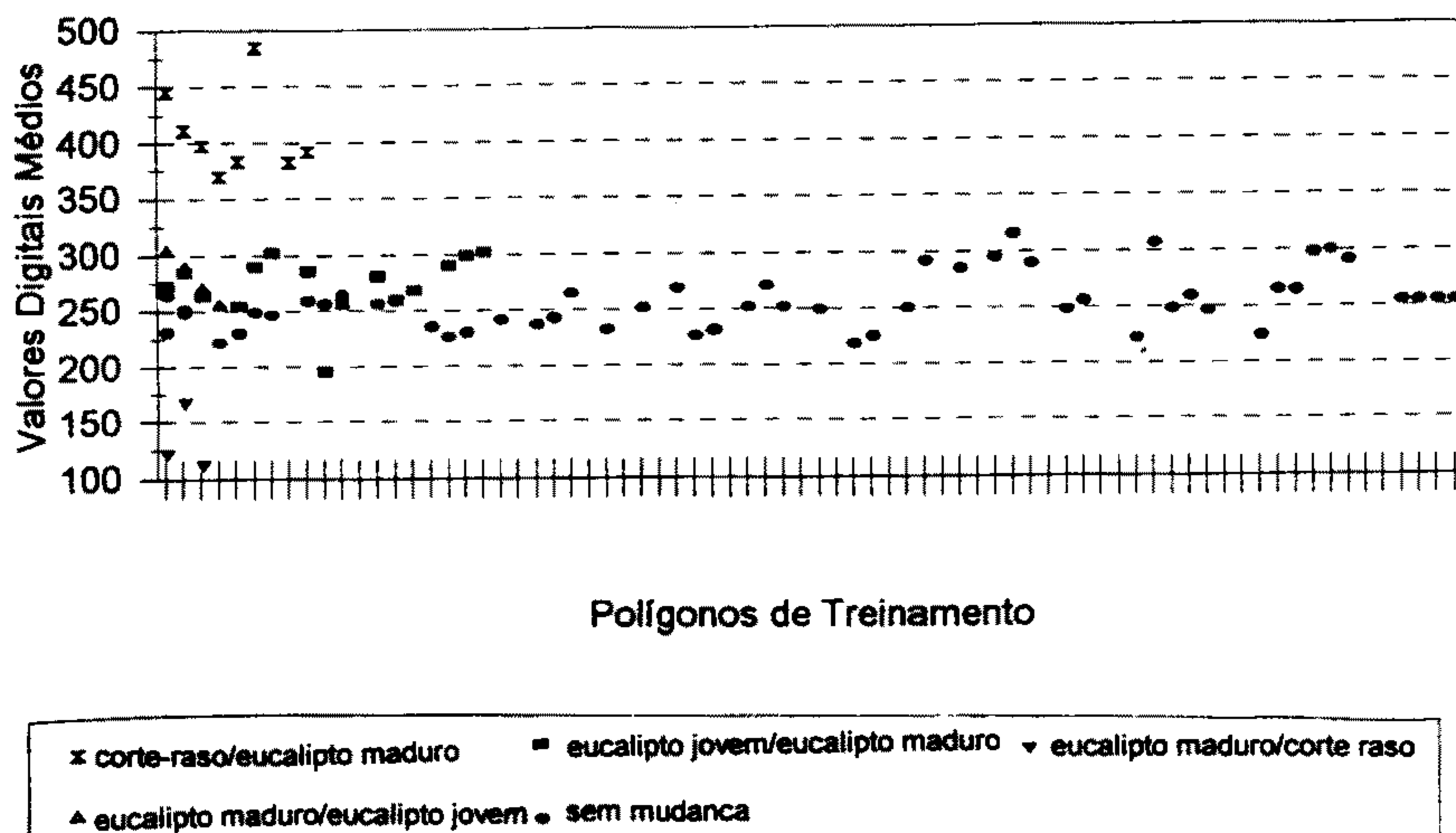


FIGURA 4 - Valores digitais médios da imagem resultante dos IVDN obtidos dos 85 polígonos de treinamento.

QUADRO 4 - Limiares definidos para cada classe nas imagens resultantes das CP1, CP2 e dos IVDN's.

Classes	CP1	CP2	IVDN
CM	< 80	> 375	> 375
JM	80 < 175	-	-
NM	175 < 350	175 < 300	175 < 325
MJ	350 < 450	300 < 375	-
MC	>450	< 175	< 175

CM - Corte Raso/Eucalipto Maduro

MJ - Eucalipto Maduro/Eucalipto Jovem

JM - Eucalipto Jovem/Eucalipto Maduro

MC - Eucalipto Maduro/Corte Raso

NM - Nenhuma Mudança

100,0% para as classes eucalipto maduro/eucalipto jovem, eucalipto maduro/corte raso e para a classe sem mudança. Na imagem resultante das CP2, as classes apresentaram também boa exatidão, com exceção das classes de eucalipto jovem/eucalipto maduro que

foi de 0,0%. Já a imagem resultante dos IVDN teve 0,0% nas classes eucalipto jovem/eucalipto maduro e eucalipto maduro/eucalipto jovem. O valor 0,0% para estas classes ocorreu porque seus valores digitais médios misturaram-se completamente com os valores digitais das outras classes, como pode ser verificado nas Figuras 3 e 4.

QUADRO 5 - Exatidões totais e por classes nas imagens resultantes das CP1, CP2 e dos IVDN's obtidos dos 85 polígonos de testes

Classes	Número de Polígonos	Exatidões (%)		
		CP1	CP2	IVDN
CM	8	75,0	75,0	87,5
JM	15	80,0	0,0	0,0
NM	55	100,0	98,2	94,5
MJ	4	100,0	100,0	0,0
MC	3	100,0	100,0	100,0
Exatidões Totais	90,6	75,3	72,3	

CM - Corte Raso/Eucalipto Maduro

MJ - Eucalipto Maduro/Eucalipto Jovem

JM - Eucalipto Jovem/Eucalipto Maduro

MC - Eucalipto Maduro/Corte Raso

NM - Nenhuma Mudança

4. CONCLUSÕES

Imagens TM Landsat obtidas em 1989 e 1992 foram utilizadas para avaliar mudanças em povoamentos de eucaliptos e outras coberturas, usando as técnicas dos componentes principais e do índice de vegetação da diferença normalizada. Com base nas análises qualitativa e quantitativa, as principais conclusões deste estudo foram:

- A imagem resultante das CP1 (90,6% de exatidão) foi a mais eficiente para detectar mudanças nas diferentes coberturas presentes na área de estudo.

- As imagens resultantes das CP2 (75,3%) e dos IVDN's (72,3%) foram apenas razoáveis, uma vez que algumas classes de mudanças se misturaram com outras classes, não sendo estas técnicas recomendadas, pelo menos neste estudo, para detecção de mudanças.

5. RESUMO

Seis bandas do sensor TM/Landsat obtidas em 1989 e 1992 foram usadas para avaliar mudanças em plantações de *Eucalyptus* spp e outras coberturas terrestres localizadas na região do Vale do Rio Doce, MG. Técnicas de análise dos componentes principais e do índice de vegetação da diferença normalizada foram aplicadas aos dois conjuntos de imagens. Em seguida, as imagens transformadas de 1989 foram subtraídas das imagens de 1992 e as imagens resultantes da diferença foram avaliadas qualitativa e quantitativamente. A imagem resultante da primeira componente principal (CP1), com exatidão de 90,6%, foi a mais eficiente na detecção de mudanças das coberturas terrestres. As imagens resultantes da segunda componente principal (CP2) e do índice de vegetação da diferença normalizada (IVDN), com exatidões de 75,2% e 72,3%, respectivamente, foram consideradas apenas razoáveis, devido às misturas entre classes, não sendo, portanto, técnicas recomendadas, pelo menos neste estudo de detecção de mudanças.

6. SUMMARY

(CHANGE DETECTION IN EUCALYPTUS FOREST PLANTATIONS USING LANDSAT TM IMAGES)

Six bands Landsat TM data obtained in 1989 and 1992 were used to evaluate major changes in *Eucalyptus* spp. stands and other cover types located in the Vale do Rio Doce region, MG, Brazil. Principal Component Analysis (PCA) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) techniques were applied to the images and the transformed images obtained in 1989 subtracted from the 1992 transformed images in the difference procedure. The differencing images were evaluated both qualitatively and quantitatively. The differencing image resulting from PCA1 (90.6% accuracy) was the most effective in detecting cover type changes. The transformed images resulting from PCA2 (75.3%) and from NDVI (72.3%) were only fairly effective since some change classes were mixed with other classes; thus these techniques are not recommended, at least in this study, for detecting cover type changes.

7. LITERATURA CITADA

1. 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).

2. HOFFER, R. M. & LEE, K. S. Forest change classification using Seasat and SIR-B Satellite SAR data. In: PROCEEDINGS OF IGARSS'S/12TH CANADIAN SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING, Vancouver, 1989. Proceedings, Vancouver, Canada, 1989. Vol. 3. p. 1372-1375.
3. HOFFER, R. M. & LEE, K. S. Change detection of forest cover using satellite radar data In: PROCEEDINGS OF THE THIRD FOREST SERVICE REMOTE SENSING APPLICATIONS CONFERENCE, Fort Collins, 1990. Proceedings, Fort Collins, USA, p. 349-355.
4. NELSON, R. F. Detecting forest canopy change due to insect activity using Landsat MSS. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 49:1303-1314. 1983.
5. SINGH, A. Digital change detection techniques using remotely-sensed data. *International Journal of Remote Sensing*, 10:989-1003. 1989.
6. SOARES, V. P. & HOFFER, R. M. *Eucalyptus* forest change classification using multi-date Landsat TM data. In: THE EUROPEAN SYMPOSIUM ON SATELLITE REMOTE SENSING, Roma, 1994, Proceedings, Roma, Itália, 1994. p. 281-291.