

ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS PARA O MONITORAMENTO
DE ÁREAS REFLORESTADAS

David Chung Liang Lee
Yosio Edemir Shimabukuro
Pedro Hernandez Filho
Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE
Secretaria Especial da Ciência e Tecnologia
Caixa Postal 515
12201 São José dos Campos, SP
BRASIL

RESUMO

Análise de componentes principais (CP) é uma técnica que tem sido utilizada na análise de imagens multiespectrais com o objetivo principal de reduzir a dimensionalidade dos dados. Além disso, esta técnica permite realce de dados para aplicações em recursos naturais e para a detecção de mudanças ocorridas na cobertura do solo. Trabalhos anteriores utilizando dados multitemporais do Landsat mostram que as primeiras componentes principais explicam as mudanças na cobertura do solo. Nesse trabalho, aplicou-se a análise de componentes principais para o monitoramento de áreas reflorestadas na área de estudo no município de Mogi-Guaçu, no Estado de São Paulo. Foram utilizadas imagens TM do satélite Landsat obtidos nos anos de 1984, 1987 e 1989, utilizando o programa Componentes Principais implementado no Sistema de Tratamento de Imagens (SITIM). Os resultados mostram o potencial dessa técnica para o monitoramento das áreas reflorestadas, ou seja, as mudanças ocorridas durante o período compreendido pelas imagens utilizadas.

ABSTRACT

Principal Components Analysis (PCA) is a technique that has been used for multispectral image analysis with the main objective of reducing the number of spectral dimension to fewer principal components. These components account for most of the variance in the original multispectral data that permit to enhance data for using in land-cover change detection on natural resources applications. Previous works found that the higher order principal components were able to account for land-cover changes. In this study, we examine the effect of using principal components analysis with special emphasis on its application of monitoring temporal changes in the reforestation areas of study site in Mogi-Guaçu municipality, São Paulo State, Brazil. The digital image analyzer system (SITIM) was utilized to analyse Landsat Thematic Mapper (TM) images obtained in 1984, 1987 and 1989. The results show the potentialities of this technique for monitoring the reforestation areas, i.e., the changes occurred during the period of the images covered.

1. INTRODUÇÃO

A análise de componentes principais (CP) é uma técnica geralmente usada no tratamento digital de imagens multiespectrais de sensoriamento remoto. Essa técnica tem sido utilizada para reduzir a dimensionalidade dos dados multiespectrais e realçar os dados para aplicações no estudo de recursos naturais. Além disso, esta técnica tem sido utilizada na detecção de mudança na cobertura do solo (Lodwick, 1979; Byrne et al., 1980; Richards, 1984; Singh, 1986).

Os dados multiespectrais coletados por sensores remotos apresentam geralmente alta correlação entre bandas adjacentes. O mapeador temático (TM) do Landsat, por exemplo, apresenta os dados das bandas do visível (TM1, TM2 e TM3) altamente correlacionados (Townshend, 1984) por causa da reflectância relativamente baixa da vegetação nessa faixa do espectro eletromagnético.

O tratamento digital utilizando todas as bandas do sensor, além de envolver uma certa redundância das informações, aumenta o custo de processamento especialmente para o estudo de detecção de mudanças que utiliza imagens de várias datas. Como solução, a análise de componentes principais tem sido usada para a redução da dimensionalidade dos dados originais pela transformação em componentes principais não correlacionados. A análise de componentes principais tem a característica de preservar a variância total da transformação dos dados e minimizar o quadrado dos erros médios aproximados. Por estas razões, ela é uma técnica atrativa para a redução da dimensionalidade de dados.

Nesse estudo, procura-se avaliar a análise de componentes principais como uma ferramenta para o monitoramento de áreas reflorestadas, isto é, detectar e avaliar as mudanças ocorridas nessas áreas em um período determinado. Os componentes principais são baseados nos autovetores derivados das matrizes de covariância (dados não padronizados) ou correlação (dados padronizados). Os dados estatísticos e as imagens resultantes das componentes principais derivados da área de estudo total são analisados para avaliar o conteúdo da informação para o monitoramento de áreas reflorestadas.

2. MATERIAL E MÉTODO

2.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada no município de Mogi-Guaçu no Estado de São Paulo, compreendida entre os meridianos de 47°00' e 47°15' de longitude oeste e os paralelos de 22°05' e 22°00' de latitude sul, cobrindo uma área aproximada de 236 quilômetros quadrados.

Essa área inclui a Fazenda Campininha do Instituto Florestal de São Paulo com plantios de Pinus, e o Horto Santa Terezinha da Champion Celulose e Papel com plantios de Eucalyptus. As principais espécies de Pinus na Fazenda Campininha são: Pinus elliottii e Pinus taeda. Outras espécies como Pinus caribaea, Pinus bahamensis, Pinus oocarpa, e Pinus palustris são plantadas em menor quantidade. No Horto Santa Terezinha, Eucalyptus alba e Eucalyptus saligna são as espécies mais plantadas. Além disso, existem áreas com culturas agrícolas com predominância de citrus e pastagem.

Informações complementares sobre solos, geologia, clima, etc. podem ser encontradas no trabalho de Hernandez Filho e Shimabukuro (1978).

2.2 DESCRIÇÃO E PRÉ-PROCESSAMENTO DOS DADOS

A área de estudo é coberta pela órbita/ponto 220/75-D do satélite Landsat-5. Para esse estudo foram utilizadas imagens digitais correspondentes às seguintes passagens: 19 de Maio de 1984, 25 de Março de 1987, 20 de Novembro de 1987 e 15 de Abril de 1989. Foram utilizadas as bandas TM1 (0,45 - 0,52 μm), TM2 (0,52 - 0,60 μm), TM3 (0,63 - 0,69 μm), TM4 (0,76 - 0,90 μm), TM5 (1,55 - 1,75 μm) e TM7 (2,08 - 2,35 μm).

As imagens de 1984 e 1989 foram usadas para a detecção de mudanças ocorridas nas áreas reflorestadas da área de estudo. As imagens de Março e Novembro de 1987 foram utilizadas com o objetivo de observar a variabilidade das componentes principais devido às características sazonais da cobertura do solo. Fotografias aéreas de Novembro de 1988 e informações do Instituto Florestal de São Paulo e Champion Celulose

e Papel estão também disponíveis para referências.

Nove possíveis mudanças, incluindo área não alterada, foram identificadas:

- área de Pinus para área de Pinus.
- área de Pinus para área de Eucalyptus.
- área de Pinus para área cortada.
- área de Eucalyptus para área de Pinus.
- área de Eucalyptus para área de Eucalyptus.
- área de Eucalyptus para área cortada.
- área cortada para área de Pinus.
- área cortada para área de Eucalyptus.
- área cortada para área cortada.

O pré-processamento de dados incluiu o registro geométrico dos pares das imagens de 1984 e 1989 e das imagens de Março e Novembro de 1987. As imagens de Abril de 1989 e Novembro de 1987 foram selecionadas como referências para o registro geométrico das imagens de Maio de 1984 e Março de 1987, respectivamente. Foram utilizadas 26 e 24 pontos de controles para o registro da imagem de Maio de 1984 e Março de 1987, respectivamente. Os erros de registro avaliados foram 0,62 pixel (direção - x) e 0,46 pixel (direção - y) para a imagem de Maio de 1984 e 0,62 pixel (direção - x) e 0,37 pixel (direção - y) para a imagem de Março de 1987.

2.3 COMPONENTES PRINCIPAIS

Componentes principais é uma técnica estatística que seleciona um novo sub-espço de uma dada dimensão em que preserva a maior parte da variância dos dados originais.

Os dados multiespectrais de sensoriamento remoto podem ser representados por vetores de dimensão igual ao número de bandas espectrais associadas a cada pixel da imagem. Um dado pixel numa imagem é identificado como um ponto no espaço n-dimensional em que as suas coordenadas correspondem aos valores de brilho nas faixas espectrais consideradas.

Pelo conceito estatístico, se as variáveis aleatórias x_1, x_2, \dots, x_p apresentam uma distribuição multivariada com vetor de médias μ e matriz de covariância Σ , pode-se extrair dessa população amostras de N observações in-

dependentes. Essas observações podem ser escritas como uma matriz $N \times p$ (Morrison, 1976, p.266):

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1p} \\ \vdots & & \vdots \\ x_{N1} & \dots & x_{Np} \end{bmatrix}$$

A posição média dos pixels no espaço é definida pelo valor esperado de acordo com:

$$m = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_j$$

onde m é o vetor das médias e os x_j são os vetores individuais do total N.

A estimativa imparcial de Σ será a usual matriz de covariância (S) dada por:

$$S = \frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N (x_j - m)(x_j - m)^T$$

onde m é o vetor de médias e $(x_j - m)^T$ é a transposta do vetor $(x_j - m)$ (Richards, 1986, p.130).

A matriz de correlação (R) pode ser obtida por procedimento semelhante ao utilizado para a matriz de covariância ou esta pode ser convertida na matriz de correlação cujos elementos são relacionados da seguinte forma:

$$r_{ij} = v_{ij} / (v_{11} \cdot v_{jj})^{1/2},$$

onde r_{ij} e v_{ij} é um elemento da matriz de correlação e covariância, respectivamente, e v_{11} e v_{jj} são as variâncias da i^{th} e j^{th} bandas espectrais, respectivamente.

As componentes principais são baseadas nos autovetores derivados das matrizes de covariância (não padronizadas) ou correlação (padronizadas). Essas matrizes podem ser extraídas de um subconjunto ou total da área de estudo de uma imagem Landsat. A componente principal Y_j é expressa como:

$$Y_j = a_{1j} x_1 + a_{2j} x_2 + \dots + a_{Nj} x_N \\ = a_j^T X,$$

onde $a_j^T (= a_{1j}, \dots, a_{Nj})$ é a transposta dos autovetores normalizados da matriz de covariância S de X. Asso-

ciados aos autovetores estão os autovalores que correspondem as variâncias dos pixels nas respectivas coordenadas transformadas. Os autovalores são organizados na ordem decrescente de modo que os dados apresentam a maior variância na primeira componente principal Y_1 , a segunda maior variância em Y_2 e assim por diante, com a menor variância apresentada na última componente Y_N .

Para esse trabalho, foi utilizado o programa de componentes principais implementado no Sistema de Tratamento de Imagens (SITIM) que embora forneça os dados estatísticos para até 8 componentes, permite somente visualizar as três primeiras componentes. Atualmente este programa está sendo reformulado para permitir a geração e a visualização de um maior número de componentes. As principais componentes foram derivadas das matrizes de covariância e correlação extraídas da área de estudo total em imagens TM/Landsat. A tratamento desses dados foram divididos em duas fases: 1) análise isoladas das imagens utilizadas, em que foram consideradas todas as bandas espectrais do TM exceto a banda TM (termal), e 2) análise conjunta dos pares de imagens (Março/Novembro de 1987 e Maio/1984-Abril/1989), em que foram consideradas as bandas TM3 (visível), TM4 (infravermelho próximo) e TM5 (infravermelho médio).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 DADOS DE MARÇO E NOVEMBRO/1987 (ANÁLISE ISOLADA)

Os dados estatísticos (autoestrutura) da transformação de componentes principais das imagens de Março e Novembro de 1987 são apresentados nas Tabelas 1 e 2, respectivamente. Nessas tabelas, verifica-se que a primeira componente principal é fortemente carregada na banda TM5 (infravermelho médio) para a CP derivada da matriz de covariância e é igualmente carregada em todas as bandas exceto na banda TM4 (infravermelho próximo) para a CP derivada da matriz de correlação.

As variâncias acumuladas para as duas componentes principais são: 96,95% (derivada da matriz de covariância) e 93,99% (derivada da matriz de correlação) para a imagem de 25 de Março de 1987, e 96,79% (derivada da matriz de covariância) e 94,84% (derivada da ma-

triz de correlação) para a imagem de 20 de Novembro de 1987. Embora as porcentagens acumuladas de variância das duas primeiras componentes sejam praticamente iguais para as duas datas, pode-se notar as diferenças nas porcentagens de variâncias atribuídas às primeiras e segundas componentes. A imagem de Março de 1987 apresenta variância de 80,72% e 16,23% para a primeira e segunda componente, respectivamente, e a imagem de Novembro de 1987 apresenta as variâncias de 86,59% e 10,20% para a primeira e segunda componente, respectivamente. Considerando que a segunda componente principal contém informações em que predominam a banda TM4 (infravermelho próximo), podemos notar que existe uma variação sazonal da cobertura vegetal no solo.

3.2 DADOS DE MAIO/1984 E ABRIL/1989 (ANÁLISE ISOLADA)

Os dados de autovetores de Maio de 1984 e Abril de 1989 são apresentados nas Tabelas 3 e 4. Nessas tabelas, considerando as CPs derivadas da matriz de covariância, verifica-se que a primeira componente é fortemente carregada na banda TM5 do infravermelho médio. Isto é devido a área conter grande variedade de alvos predominando solo nu e áreas reflorestadas com alta e baixa reflectância nessa faixa espectral provocando uma maior variância nesta banda. A segunda componente principal é carregada de forma muito intensa pela variação encontrada na banda do infravermelho próximo (TM4). As duas primeiras componentes apresentam 96,63% e 95,12% do total de variância dos dados originais para as imagens de Maio de 1984 e Abril de 1989, respectivamente. As demais componentes principais não apresentam variâncias significativas.

A primeira componente principal obtida da matriz de correlação, claramente distinta da derivada da matriz de covariância, é carregada aproximadamente com os mesmos valores em todas as bandas exceto a do infravermelho próximo (TM4). A segunda componente principal apresenta comportamento semelhante à obtida da matriz de covariância, isto é, ela é carregada fortemente pela variação encontrada na banda do infravermelho próximo. As duas primeiras componentes apresentam 92,67% e 91,51% do total de variância dos dados originais para as imagens de Maio

de 1984 e Abril de 1989, respectivamente.

A imagem de Maio de 1984 apresenta as variâncias de 73,03% e 23,69% (derivada da matriz de covariância) para a primeira e segunda componente, respectivamente, e a imagem de Abril de 1989 apresenta as variâncias de 74,42% e 20,70% (derivada da matriz de covariância) para a primeira e segunda componente, respectivamente. Pode-se notar que o comportamento das duas primeiras componentes principais são semelhantes para as duas imagens analisadas e portanto, pode-se considerar que não existe influência significativa da variação sazonal.

3.3 DADOS DE MARÇO E NOVEMBRO/87-ANÁLISE CONJUNTA

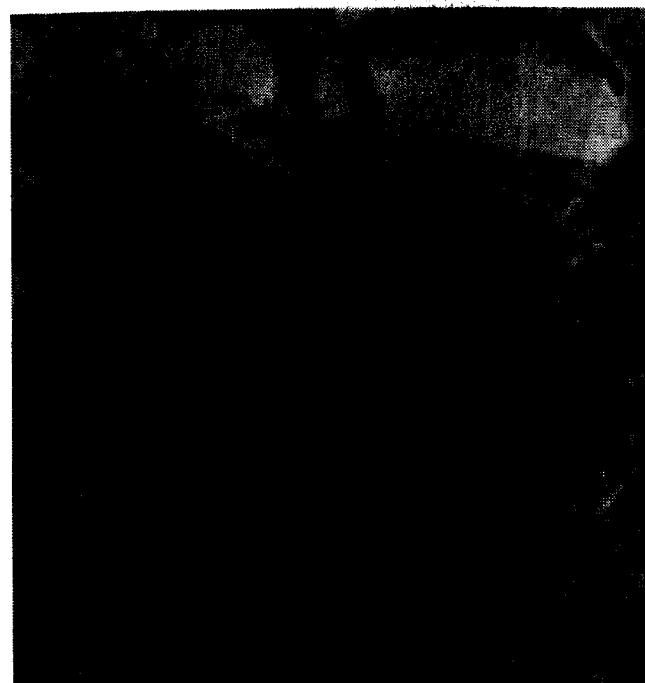
Os dados estatísticos da transformação em componentes principais derivadas das imagens conjuntas de Março e Novembro de 1987 são apresentados na Tabela 5. As duas primeiras componentes derivadas destas imagens apresentam comportamento semelhante àquelas observadas nas imagens isoladas, isto é, a primeira componente é carregada fortemente pelas bandas TM5, enquanto que a segunda componente principal é carregada fortemente pelas bandas TM4 das imagens consideradas.

Os dados de Março e Novembro de 1987 foram analisados conjuntamente, com o objetivo de verificar as modificações ocorridas neste ano provocadas por razões sazonais (período chuvoso e seco). Cerca de 94,61% e 90,99% da variância dos dados originais estão contidas nas três primeiras componentes principais para os dados não padronizados e dados padronizados, respectivamente.

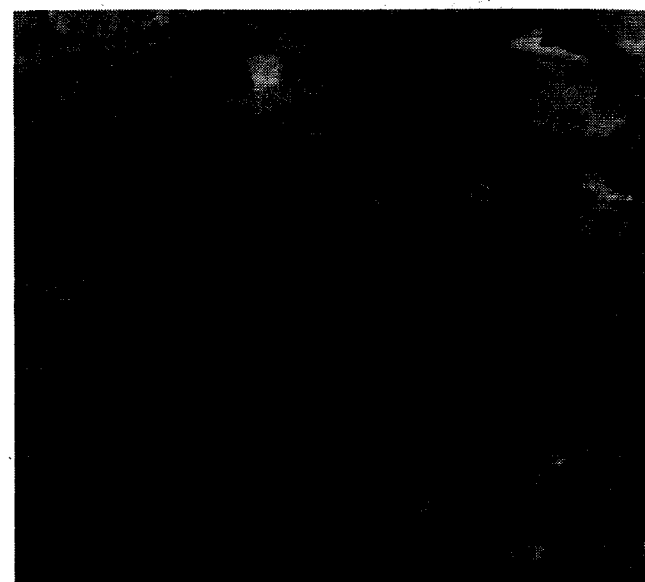
A Fig. 1 mostra as imagens de componentes principais derivadas da matriz de covariância (dados não padronizados). Essas imagens (Figs. 1a- primeira componente, 1b- segunda componente e 1c- terceira componente) mostram as mudanças ocorridas entre os períodos de Março e Novembro de 1987, principalmente devido a variação sazonal. Além disso, elas apresentam as mudanças ocorridas na cobertura do solo (áreas reflorestadas para áreas cortadas e vice-versa).



(a)



(b)



(c)

Fig. 1 - Imagens componentes principais derivadas das imagens de Março e Novembro de 1987: (a) primeira componente, (b) segunda componente e (c) terceira componente.

3.4 DADOS DE MAIO DE 1984 E ABRIL DE 1989 (ANÁLISE CONJUNTA)

Outra abordagem para aplicar componentes principais para detecção de mudanças é usando rotação de dados combinados de multidatas. Os dados estatísticos da transformação em componentes principais derivadas das imagens conjuntas de Maio de 1984 e Abril de 1989 são apresentados na Tabela 6. As duas primeiras componentes derivadas das imagens conjuntas apresentam comportamento semelhante aquelas observadas nas imagens isoladas, isto é, a primeira componente é carregada fortemente pelas bandas TM5, enquanto que a segunda componente principal é carregada fortemente pelas bandas TM4 das imagens consideradas. Cerca de 92,60% e 88,66% da variância dos dados originais estão contidas nas três primeiras componentes principais para os dados não padronizados e dados padronizados, respectivamente.

A Fig. 2 mostra as imagens de componentes principais derivadas da matriz de covariância (dados não padronizados). Essas imagens mostram as mudanças ocorridas entre os períodos de 1984 e 1989, isto é, mudanças de áreas reflorestadas com Eucalyptus e Pinus em 1984 para áreas cortadas em 1989, e área cortada em 1984 para áreas reflorestadas com Eucalyptus e Pinus em 1989.

Na Fig. 2a (primeira componente principal) as áreas que eram reflorestamento em 1984 mudando para áreas cortadas em 1989 e as áreas que eram solo nu (área cortada) em 1984 e foram reflorestadas aparecem com tonalidade cinza médio. Nesta imagem não é possível observar o tipo de mudança ocorrida. Na Fig. 2b (segunda componente principal) as áreas que eram reflorestamento em 1984 mudando para áreas cortadas em 1989 e as áreas que eram solo nu (área cortada) em 1984 e foram reflorestadas aparecem com tonalidade cinza claro. Da mesma maneira que a componente anterior, não foi possível observar o tipo de alteração ocorrida. Na Fig. 2c (terceira componente principal) as áreas que eram reflorestamento em 1984 e foram cortadas aparecem em tonalidade clara, enquanto que as áreas que eram solo nu (área cortada) em 1984 e foram reflorestadas aparecem com tonalidade escura. Embora a terceira componente principal apresente uma porcentagem relativamente baixa (9,02) ela contém informações importantes para a definição do tipo de mudança ocorrida.

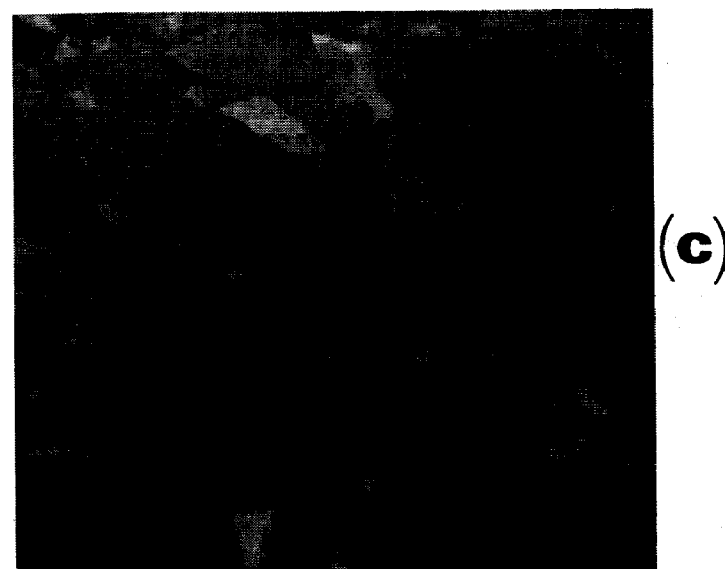
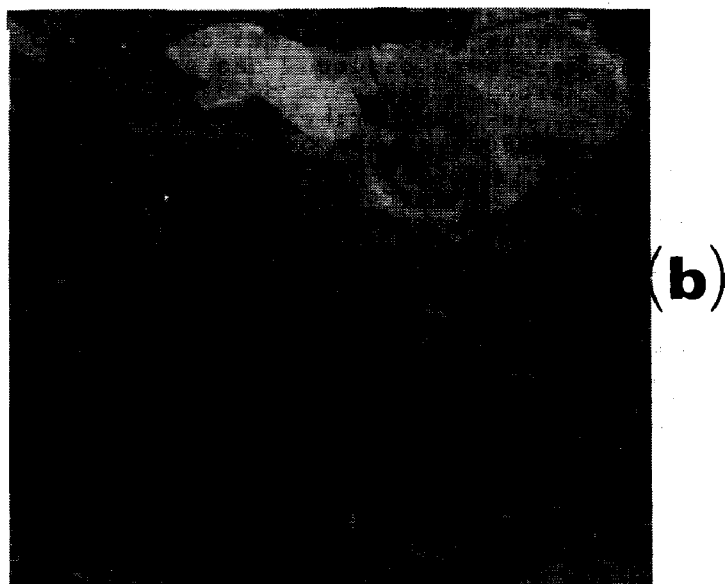
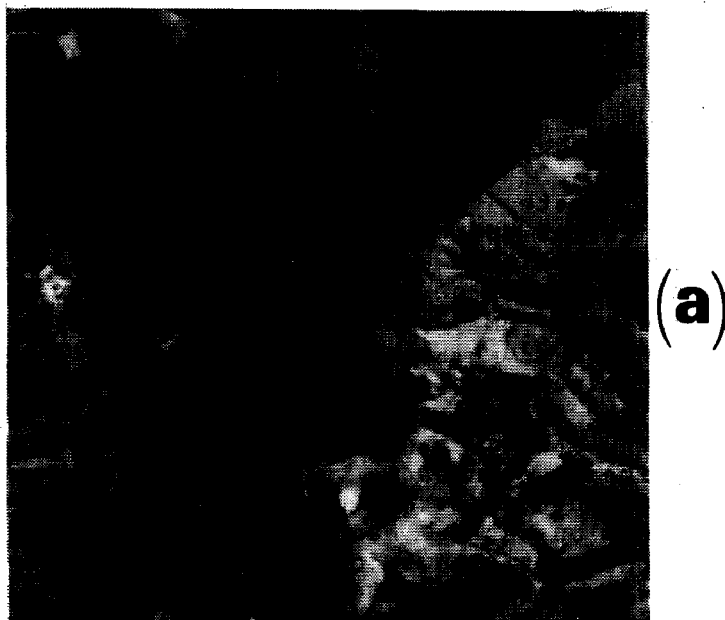


Fig. 2- Imagens componentes principais derivadas das imagens de Maio de 1984 e Abril de 1989: (a) primeira componente, (b) segunda componente e (c) terceira componente.

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi revisto os conceitos de transformação em componentes principais e avaliação da aplicação das imagens geradas para detecção de mudanças em áreas reflorestadas com Pinus e Eucalyptus na área de estudo denominada Mogi-Guaçu. Observou-se que existe diferença significativa na contribuição das bandas para a formação da primeira componente a partir da comparação de dados não padronizados (maior contribuição da banda TM5) e dados padronizados (igual contribuição das bandas exceto banda TM4).

A porcentagem de variância acumulada para as duas primeiras componentes principais para os dados não padronizados é maior do que para os dados padronizados. As duas primeiras componentes principais da imagem de Março de 1987 apresentam variâncias diferentes da imagem de Novembro de 1987, motivada pela variação sazonal da cobertura do solo. As duas primeiras componentes das imagens de Maio de 1984 e Abril de 1989 apresentam comportamento semelhantes, indicando a pouca influência da variação sazonal da cobertura do solo. Portanto, para a detecção de mudanças é necessário que se utilize imagens da mesma época do ano.

A análise de componentes principais é uma técnica que depende da cena analisada. Não se pode conhecer a natureza exata das componentes principais sem uma análise da autoestrutura e inspeção visual das imagens resultantes. Embora esta seja uma técnica poderosa de redução de dados, ela deve ser usada somente com um bom conhecimento das características da área de estudo para evitar conclusões errôneas.

Os resultados obtidos neste trabalho refletem somente uma averiguação preliminar da utilização da técnica de componentes principais na detecção de mudanças e são bastantes encorajadores para o desenvolvimentos de novos trabalhos.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BYRNE, G.F.; CRAPPER P.F. ; Mayo, K.K. 1980. Monitoring Land-Cover Change by Principal Component Analysis of

Multitemporal Landsat Data, Remote Sensing of Environment, 10, 175-184.

HERNANDEZ FILHO, P.; SHIMABUKURO, Y.E. 1978. Estabelecimento de metodologia para avaliação de povoamentos florestais artificiais, utilizando-se dados do Landsat. São José dos Campos, INPE. (INPE-1271-TPT/089).

LODWICK, G.D., 1979. Measuring Ecological Changes in Multitemporal Landsat Data Using Principal Components, Proceedings of the 13th International Symposium on Remote Sensing of Environment, Ann Arbor, Michigan, pp. 1131-1141.

MORRISON, D.F., 1976. Multivariate Statistical Methods, Second Edition. McGraw-Hill, New York, U.S.A., pp. 267-268.

RICHARDS, J.A., 1984. Thematic Mapping from Multitemporal Image Data Using the Principal Components Transformation, Remote Sensing of Environment, 16, 35-46.

RICHARDS, J.A., 1986. Remote Sensing Digital Image Analysis. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany, pp. 127-138.

SINGH, A., 1986. Change Detection in the Tropical Forest Environment of Northeastern India Using Landsat, Remote Sensing and Tropical Land Management, (M.J. Eden and J.T. Parry eds), John Wiley and Son, - Chichester, pp. 237-254.

TOWNSHEND, J.R., 1984. Agricultural Land-Cover Discrimination Using Thematic Mapper Spectral Bands. International Journal of Remote Sensing, 5,(4) 681-698.

TABELA 1
DADOS ESTADÍSTICOS DE 25 DE MARÇO DE 1987

Banda	Média	Matriz de covariância					
		1	2	3	4	5	7
1	57.26	25.30					
2	24.82	22.23	22.54				
3	25.05	37.89	36.52	69.81			
4	58.25	20.45	23.47	18.11	181.12		
5	59.41	103.39	101.17	172.94	135.06	579.74	
7	16.41	46.03	43.86	84.67	22.13	237.60	116.98

	Matriz de correlação						
1	1.00						
2	0.93	1.00					
3	0.90	0.92	1.00				
4	0.30	0.37	0.16	1.00			
5	0.85	0.89	0.86	0.42	1.00		
7	0.85	0.85	0.94	0.15	0.91	1.00	

CPs não padronizadas

Banda	Componentes principais					
	1	2	3	4	5	6
1	0.156	-0.048	0.348	-0.474	0.736	-0.293
2	0.152	-0.024	0.310	-0.383	-0.088	0.852
3	0.261	-0.193	0.644	-0.077	-0.574	-0.380
4	0.214	0.941	0.210	0.154	0.008	-0.019
5	0.845	-0.055	-0.491	-0.173	-0.086	-0.061
7	0.352	-0.266	0.287	0.754	0.338	0.200
Autovalor	803.52	161.57	19.53	7.22	2.46	1.17
% variância	80.72	16.23	1.96	0.73	0.25	0.12
% acumulada	80.72	96.95	98.91	99.64	99.89	100.00

CPs padronizadas

Banda	Componentes principais					
	1	2	3	4	5	6
1	0.439	-0.039	-0.552	-0.564	0.427	-0.005
2	0.447	0.026	-0.392	0.218	-0.681	-0.367
3	0.442	-0.216	-0.091	0.061	0.221	0.573
4	0.168	0.946	0.039	0.181	0.202	-0.037
5	0.441	0.085	0.520	-0.463	-0.378	0.413
7	0.435	-0.220	0.510	0.124	0.348	-0.604
Autovalor	4.67	0.96	0.20	0.08	0.06	0.02
% variância	77.96	16.03	3.34	1.34	1.00	0.33
% acumulada	77.96	93.99	97.33	98.67	99.67	100.00

TABELA 2
DADOS ESTADÍSTICOS DE 20 DE NOVEMBRO DE 1987

Banda	Média	Matriz de covariância					
		1	2	3	4	5	7
1	74.74	59.66					
2	34.88	53.88	55.19				
3	36.55	97.24	95.08	188.62			
4	77.50	54.43	63.25	73.05	281.07		
5	86.34	237.96	237.09	411.23	348.87	1252.73	
7	28.25	124.53	120.68	233.30	112.17	591.89	328.43

	Matriz de correlação						
1	1.00						
2	0.94	1.00					
3	0.92	0.93	1.00				
4	0.42	0.51	0.32	1.00			
5	0.87	0.90	0.85	0.59	1.00		
7	0.89	0.90	0.94	0.37	0.92	1.00	

CPs não padronizadas

Banda	Componentes principais					
	1	2	3	4	5	6
1	0.160	-0.092	0.257	-0.434	0.776	-0.330
2	0.160	-0.046	0.262	-0.362	0.045	0.878
3	0.281	-0.297	0.631	-0.201	-0.546	-0.310
4	0.230	0.891	0.357	0.157	0.011	-0.038
5	0.813	0.036	-0.534	-0.189	-0.117	-0.058
7	0.395	-0.327	0.231	0.762	0.289	0.141
Autovalor	1875.29	220.90	46.50	14.93	5.68	2.40
% variância	86.59	10.20	2.15	0.69	0.26	0.11
% acumulada	86.59	96.79	98.94	99.63	99.89	100.00

CPs padronizadas

Banda	Componentes principais					
	1	2	3	4	5	6
1	0.432	-0.134	-0.485	-0.608	-0.437	0.010
2	0.441	-0.030	-0.374	0.105	0.705	-0.396
3	0.428	-0.279	-0.170	0.622	-0.155	0.547
4	0.247	0.923	-0.090	0.192	-0.206	-0.026
5	0.434	0.112	0.562	-0.405	0.343	0.449
7	0.432	-0.198	0.521	0.181	-0.357	-0.584
Autovalor	4.87	0.82	0.16	0.08	0.05	0.02
% variância	81.17	13.67	2.67	1.33	0.83	0.33
% acumulada	81.17	94.84	97.51	98.84	99.67	100.00

TABELA 3
DADOS ESTADÍSTICOS DE 19 DE MAIO DE 1984

Média		Matriz de covariância						
Banda		1	2	3	4	5	7	
1	47.12	14.42						
2	18.37	11.54	11.46					
3	17.84	20.10	18.50	38.05				
4	43.61	5.49	7.24	-4.82	127.01			
5	39.34	54.94	50.86	84.92	54.04	294.22		
7	9.11	21.66	19.57	38.49	-2.24	104.79	46.64	

Matriz de correlação							
	1	2	3	4	5	7	
1	1.00						
2	0.90	1.00					
3	0.86	0.89	1.00				
4	0.13	0.19	-0.07	1.00			
5	0.84	0.88	0.80	0.28	1.00		
7	0.84	0.85	0.91	-0.03	0.89	1.00	

CPs não padronizadas

Banda	Componentes principais					
	1	2	3	4	5	6
1	0.167	-0.056	0.302	-0.570	0.695	-0.264
2	0.154	-0.034	0.274	-0.350	-0.113	0.874
3	0.260	-0.206	0.722	0.019	-0.505	-0.338
4	0.179	0.953	0.216	0.112	0.026	-0.015
5	0.866	-0.043	-0.456	-0.119	-0.140	-0.078
7	0.313	-0.209	0.243	0.725	0.478	0.213
Autovalor	388.38	125.52	11.35	3.66	1.95	0.95
% variância	73.03	23.60	2.13	0.69	0.37	0.18
% acumulada	73.03	96.63	98.76	99.45	99.82	100.00

CPs Padronizadas

Banda	Componentes principais					
	1	2	3	4	5	6
1	0.444	0.008	-0.554	0.620	0.333	-0.033
2	0.452	0.065	-0.358	-0.282	-0.705	-0.295
3	0.444	-0.212	-0.132	-0.616	0.385	0.461
4	0.064	0.947	-0.000	-0.190	0.237	-0.077
5	0.444	0.164	0.520	0.346	-0.324	0.530
7	0.447	-0.162	0.526	-0.036	0.288	-0.642
Autovalor	4.48	1.08	0.20	0.12	0.09	0.03
% variância	74.67	18.00	3.33	2.00	1.50	0.50
% acumulada	74.67	92.67	96.00	98.00	99.50	100.00

TABELA 4

DADOS ESTADÍSTICOS DE 15 DE ABRIL DE 1989

Banda	Média	Matriz de covariância					
		1	2	3	4	5	7
1	50.46	20.05					
2	21.73	17.26	17.12				
3	21.04	28.47	26.69	59.57			
4	57.73	8.55	12.87	3.32	191.31		
5	53.06	86.38	81.31	130.36	89.82	501.55	
7	14.28	38.86	35.54	71.76	5.23	192.58	101.75

Matriz de correlação							
1	2	3	4	5	7		
1	1.00						
2	0.93	1.00					
3	0.82	0.84	1.00				
4	0.14	0.22	0.03	1.00			
5	0.86	0.88	0.75	0.29	1.00		
7	0.86	0.85	0.92	0.04	0.85	1.00	

CPs não padronizadas

Banda	Componentes principais					
	1	2	3	4	5	6
1	0.154	-0.058	0.111	0.536	-0.558	-0.601
2	0.145	-0.028	0.116	0.500	-0.303	0.789
3	0.242	-0.167	0.640	0.316	0.627	-0.104
4	0.176	0.957	0.225	-0.039	-0.025	-0.017
5	0.863	-0.043	-0.480	-0.018	0.151	-0.020
7	0.348	-0.224	0.532	-0.601	-0.424	0.067
Autovalor	663.38	181.55	32.44	5.85	4.01	1.12
% variância	74.42	20.70	3.64	0.66	0.45	0.13
% acumulada	74.42	95.12	98.76	99.42	99.87	100.00

CPs padronizadas

Banda	Componentes principais					
	1	2	3	4	5	6
1	0.450	-0.035	-0.396	-0.420	0.645	-0.217
2	0.454	0.052	-0.269	-0.421	-0.619	0.398
3	0.433	-0.189	0.680	-0.188	-0.184	-0.495
4	0.093	0.955	0.247	-0.065	0.110	0.040
5	0.440	0.139	-0.373	0.687	-0.205	-0.365
7	0.449	-0.169	0.328	0.368	0.336	0.644
Autovalor	4.46	1.04	0.23	0.16	0.07	0.05
% variância	74.21	17.30	3.83	2.66	1.16	0.83
% acumulada	74.21	91.51	95.34	98.00	99.16	100.00

TABELA 5

DADOS ESTATÍSTICOS DAS CPS MULTITEMPORAL (MAR/87 E NOV/87)

		Média	Matriz de covariância					
			Mar/87			Nov/87		
Banda			3	4	5	3	4	5
Mar/87	3	25.05	69.81					
	4	58.25	18.11	181.12				
	5	59.41	172.94	135.06	579.74			
Nov/87	3	36.55	73.24	41.35	198.24	188.62		
	4	77.55	66.08	126.47	266.54	73.05	281.07	
	5	86.34	191.01	183.92	647.27	411.23	348.87	252.73

		Matriz de correlação						
			Mar/87			Nov/87		
Banda			3	4	5	3	4	5
Mar/87	3	1.00						
	4	0.16	1.00					
	5	0.86	0.42	1.00				
Nov/87	3	0.64	0.23	0.60	1.00			
	4	0.47	0.56	0.66	0.32	1.00		
	5	0.65	0.39	0.76	0.85	0.59	1.00	

CPs não padronizadas

		Componentes principais					
Banda		1	2	3	4	5	6
Mar/87	3	0.141	0.062	-0.331	-0.026	0.291	0.884
	4	0.141	0.407	0.554	-0.700	0.025	0.127
	5	0.477	0.445	-0.642	-0.214	-0.149	-0.305
Nov/87	3	0.252	-0.346	-0.032	-0.202	0.826	-0.306
	4	0.262	0.566	0.322	0.640	0.311	-0.044
	5	0.755	-0.439	0.257	0.114	-0.339	0.117
Autovalor		1971.74	273.61	169.96	89.68	38.56	9.56
% variância		77.23	10.72	6.66	3.51	1.51	0.37
% acumulada		77.23	87.95	94.61	98.12	99.63	100.00

CPs padronizadas

		Componentes principais					
Banda		1	2	3	4	5	6
Mar/87	3	0.424	-0.324	-0.453	-0.377	-0.390	-0.465
	4	0.268	0.724	0.348	-0.514	-0.089	-0.107
	5	0.473	-0.033	-0.353	-0.248	0.522	0.563
Nov/87	3	0.404	-0.381	0.563	0.043	-0.442	0.420
	4	0.380	0.456	-0.328	0.656	-0.319	0.085
	5	0.465	-0.129	0.352	0.317	0.521	-0.521
Autovalor		3.80	1.07	0.59	0.35	0.13	0.06
% variância		63.33	17.83	9.83	5.83	2.17	1.00
% acumulada		63.33	81.16	90.99	96.82	98.99	100.00

TABELA 6

DADOS ESTATÍSTICOS DOS CPS MULTITEMPORAL (MAI/84 E ABR/89)

		Média	Matriz de covariância					
			Mai/84		Abr/89			
Banda			1	2	3	4	5	7
Mai/84	3	17.84	38.05					
	4	43.61	4.82	127.01				
	5	39.34	84.92	54.04	294.22			
Abr/89	3	21.04	25.46	1.19	65.82	59.57		
	4	57.73	13.84	94.83	91.52	3.32	191.31	
	5	53.06	83.41	46.57	268.97	130.36	89.82	501.55

		Matriz de correlação					
			Mai/84		Abr/89		
Banda		3	4	5	3	4	5
Mai/84	3	1.00					
	4	0.07	1.00				
	5	0.80	0.28	1.00			
Abr/89	3	0.53	0.01	0.50	1.00		
	4	0.16	0.61	0.39	0.03	1.00	
	5	0.60	0.18	0.70	0.75	0.29	1.00

PCs não padronizadas

		Componentes principais					
Banda		1	2	3	4	5	6
Mai/84	3	0.158	-0.082	-0.277	0.127	0.195	0.915
	4	0.132	0.561	0.189	0.773	0.042	0.183
	5	0.537	0.083	-0.777	0.111	-0.056	-0.293
Abr/89	3	0.195	-0.193	0.131	0.071	0.929	-0.199
	4	0.227	0.735	0.154	-0.607	0.122	-0.037
	5	0.762	-0.308	0.493	-0.023	-0.282	0.047
Autovalor		776.56	233.96	111.42	59.79	21.88	8.10
% variância		64.09	19.31	9.02	4.93	1.81	0.67
% acumulada		64.09	83.40	92.60	97.53	99.34	100.00

CPs padronizadas

		Componentes principais					
Banda		1	2	3	4	5	6
Mai/84	3	0.460	-0.252	-0.526	-0.091	-0.346	-0.566
	4	0.173	0.678	0.278	-0.587	-0.131	-0.243
	5	0.512	0.025	-0.371	-0.317	0.204	0.676
Abr/89	3	0.422	-0.294	0.604	0.096	-0.553	0.235
	4	0.255	0.617	-0.166	0.704	-0.162	0.073
	5	0.503	-0.094	0.340	0.175	0.700	-0.320
Autovalor		3.11	1.56	0.65	0.37	0.21	0.11
% variância		51.83	26.00	10.83	6.17	3.50	1.83
% acumulada		51.83	77.83	88.66	94.83	98.33	100.00