

## **DETECÇÃO DE MUDANÇA (CHANGE DETECTION) DA COBERTURA E USO DO SOLO EM REGIAO SEMIÁRIDA: ENFOQUE PARA O MUNICÍPIO DE TEOFILÂNDIA-BA**

*José Luiz Oliveira Batista<sup>1</sup>, Rosangela Leal Santos<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Mestrando do Programa de Pós Graduação em Modelagem em Ciência da Terra e do Ambiente – PPGM - da Universidade Estadual de Feira de Santana - UEFS. Avenida Transnordestina, S/N - Novo Horizonte Caixa Postal: 252 e 294 - Tel: (75) 3224-8200 CEP: 44036-900 – Feira de Santana – BA – Brasil.*

*betouefs@yahoo.com.br*

*<sup>2</sup>Professora Dr<sup>a</sup> adjunta da Universidade Estadual de Feira de Santana – UEFS - e integrante do Programa de Pós Graduação em Modelagem em Ciência da Terra e do Ambiente - PPGM. Avenida Transnordestina, S/N - Novo Horizonte Caixa Postal: 252 e 294 - Tel: (75) 3224-8200 CEP: 44036-900 – Feira de Santana – BA – Brasil. rosangela.leal@gmail.com*

*Artigo recebido em 31/05/2011 e aceito em 18/05/2012*

### **RESUMO**

A sazonalidade da região de clima semiárido, com duas estações bem definidas, uma seca e outra chuvosa, apresentam grandes alterações na paisagem de vegetação caatinga. Essas alterações são decorrentes da má distribuição da chuva durante o ano, onde se observa índices pluviométricos distintos entre as duas principais estações, verão e inverno, proporcionando rápidas respostas às mudanças ambientais. O presente trabalho busca identificar e classificar o uso e ocupação do solo do município de Teofilândia-BA entre os anos de 1993 a 2008, utilizando as técnicas de detecção de mudança do NDVI e Pós-classificação. Para tanto, fez-se o processamento digital das quatro imagens e em seguida fez-se a classificação supervisionada Maxver, onde se identificou cinco principais classes de cobertura e uso do solo: água, área urbana, pastagem e solo exposto e caatinga. Em seguida, fez-se a tabulação cruzada entre os resultados do NDVI e da classificação Maxver. Os resultados mostram que há dificuldade em separar os intervalos das classes no NDVI e que a detecção de mudanças das áreas das classes de pastagem e solo exposto se sobrepõe em períodos sazonais distintos. Também se verificou este problema entre as áreas da caatinga com a pastagem.

**Palavras-chave:** Detecção de Mudança; Processamento digital de Imagens, NDVI, Pós-Classificação, Classificação Maxver.

### **DETECTION OF CHANGE (CHANGE DETECTION) LAND USE AND LAND COVER IN SEMIARID REGION: FOCUS FOR THE CITY OF TEOFILANDIA-BA**

### **ABSTRACT**

The seasonality of the semiarid climate region's, with two well defined seasons, a dry and another rainy season, presents large changes in the landscape of caatinga vegetation. These changes are due to the maldistribution of rainfall during the year, where is observed rainfall distincts indexes between the two main seasons, summer and winter, providing quick responses to environmental changes. The present work searches to identify and classify the use and occupation of the city of BA-Teofilandia between the years 1993 to 2008, using the techniques of NDVI change detection and post-classification. For both, was made the digital processing of the

four images and then was made the supervised classification maximum likelihood, where five classes of land cover types and land use were identified: water, urban area, bare soil and grassland and scrub vegetation. Then the cross-tabulation was made between the results of NDVI and maximum likelihood classification. The results show that there there is difficulty in separating the class intervals in NDVI, and that the detection of changes in class areas of grassland and exposed soil overlaps in different seasons. Also was verified this problem between the areas of caatinga vegetation with the pasture.

**Keywords:** Change Detection, Digital Image Processing, NDVI, Post Rating, Maxver Classification.

## INTRODUÇÃO

A diversidade biológica, principalmente na flora, as várias formas de manifestações culturais e até mesmo os diferentes micro-climas fazem do semiárido brasileiro uma região extremamente rica e com grande potencial para o desenvolvimento sustentável. Mas apesar de rica, a Caatinga possui um ecossistema frágil e com demorada ou pouca capacidade de reconstituição.

A fragilidade observada no bioma Caatinga é decorrente dos próprios fatores climáticos e da pouca compreensão que se tem da natureza da região, o que leva a práticas e ações predatórias, às vezes, na busca de recursos imediatos para a sobrevivência da população ou pela ação predatória dos grandes grupos econômicos, na busca do lucro fácil.

A sazonalidade da região de clima semiárido, com duas estações bem definidas, uma seca e outra chuvosa, apresentam grandes alterações na paisagem de vegetação caatinga. Essas alterações são decorrentes da má distribuição da chuva durante o ano, onde se observa índices pluviométricos distintos entre as duas principais estações, verão e inverno,

proporcionando rápidas respostas às mudanças ambientais.

A Caatinga é uma vegetação tropical xerófila exclusiva do Brasil, caracterizada pela presença de muitas espécies decíduas. Hierarquicamente, o fator abiótico mais importante que influencia as características das plantas na Caatinga, tais como a fenologia, é a disponibilidade de água (SAMPAIO, 1995). De maneira geral, na Caatinga os padrões fenológicos predominantes são o brotamento e a floração coincidindo com o período das chuvas, a senescência foliar na estação seca e a época de frutificação ocorrendo de acordo com a síndrome de dispersão das espécies (MACHADO *et al.* 1997, BARBOSA *et al.* 2003). No entanto, a fenologia da comunidade é organizada de forma que todas as fenofases possam ser observadas durante todo o ano. A família Euphorbiaceae é uma das mais representativas da Caatinga em número de espécies (SAMPAIO 1995) e são utilizadas como recurso para muitas espécies de polinizadores e de dispersores secundários, tais como as formigas (LEAL *et al.* 2003).

A Caatinga da área de estudo, de modo geral, é constituída por tipos que

formam um revestimento baixo de vegetação arbustivo-arbórea, com folhas miúdas e hastes espinhentas adaptadas para conter os efeitos de uma evapo-transpiração muito intensa.

Diante das alterações paisagísticas ocorridas no bioma Caatinga, em particular as observadas na área de estudo, busca-se identificar e classificar o uso e ocupação do solo do município de Teofilândia-BA entre os anos de 1993 a 2008, utilizando a classificação supervisionada Maxver para comparar os resultados das técnicas de detecção de mudanças utilizados neste trabalho.

### **Localização e características da área de estudo**

Este trabalho foi desenvolvido no município de Teofilândia - Bahia que dista 194 km de Salvador, Figura 01. Está situado no Polígono das Secas do Estado, em uma área de clima sub-úmido a seco megatérmico, com a vegetação predominante de Caatinga arbórea/arbustiva, sendo seu uso predominante para pastagens e, periodicamente, agricultura temporária. Nesta área predominam rochas e estruturas características dos domínios do embasamento, representados por gnaisses, granulitos, granitóides e metassedimentos,

que forma um conjunto de rochas coerentes.

A hidrografia do município é composta por rios e riachos intermitentes, estes só possuem água em seus leitos quando ocorre forte precipitação, que deixa de correr algumas horas após a chuva cessar. O fornecimento de água para a população na sede e em alguns povoados é fornecida pela Empresa Baiana de Águas e Saneamento (EMBASA), e na zona rural a grande maioria consome a água dos açudes e represas sem ser tratada, causando danos à saúde dos moradores.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

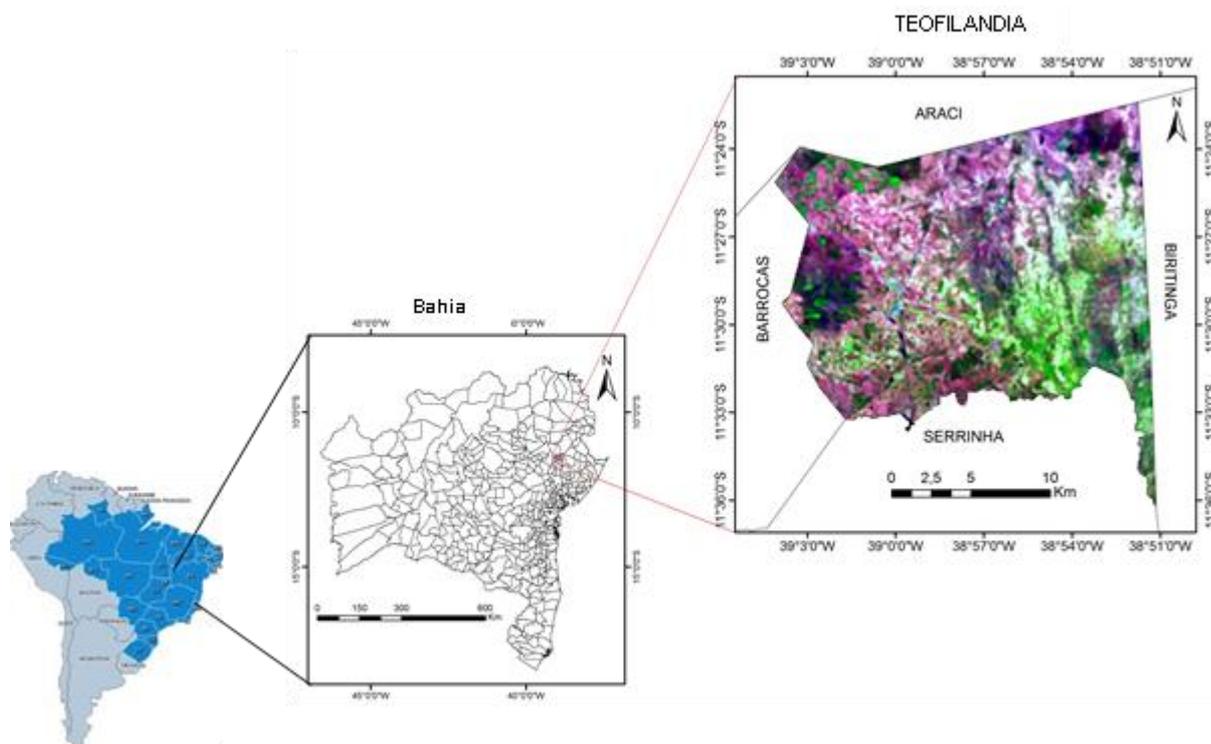
### **Materiais utilizados**

Os principais materiais utilizados neste trabalho foram:

- ✓ Mapas analógicos e digitais pré-existent dos dados do (SIG-BA, SRH, SEI), como mapa de solo, geologia, geomorfologia, vegetação, hidrografia;
- ✓ Imagens de satélite do Landsat 5 TM de 10-12 de 1993, 06-07 de 1994, 15-01-2007 e 03-02 de 2008, cena 216/68 (órbita e ponta), que possui uma resolução espacial de 30 metros e temporal de 16 dias;
- ✓ Mapa digital do município de Teofilândia (SEI, 2003);

- ✓ Computadores e Softwares (Idrisi Andes, Envi 4.4, Arc Gis 9.3, Global Mapper 8 e Spring 4.3.3);
- ✓ GPS, câmera fotográfica digital.

Figura 01: Localização da área de estudo. Fonte: Elaborado com base nos dados da SEI (2003)



## Métodos

### Detecção de mudanças

Uma determinada área é imageada por um satélite várias vezes, possibilitando a aquisição da imagem desta em tempos distintos. Devido a essa repetitividade com que as imagens de satélite são adquiridas, partiu-se, então, do seguinte pressuposto: será possível identificar e quantificar esta mudança? E qual a melhor técnica para isso?

À partir da literatura, se verificou que é possível fazer uma análise da extensão e do tipo de mudanças no uso do solo através de sensoriamento remoto e que a detecção de mudança se baseia principalmente em três métodos: avaliação do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada – NDVI, Análise por Componentes Principais - ACP e a Pós-classificação.

Uma análise de processamento digital de imagens pode ser feita no sentido de reconhecer alterações ocorridas na paisagem de uma região, num dado período de tempo. Dentre tais alterações, podem ser citados o desmatamento, a expansão urbana e as variações sazonais da vegetação (RIDD & LIU, 1998). Alguns passos devem ser operacionalizados para se analisar detecção de mudanças em imagens de satélite. Inicialmente as imagens devem ser co-registradas, ou georreferenciadas numa mesma projeção cartográfica e, dependendo do processo utilizado, elas devem passar por uma correção atmosférica (SONG *et. al.*, 2001).

*Técnica do NDVI* – se trata de uma técnica utilizada dentro do método de imagem diferença, consistindo no registro de imagens em dois tempos diferentes (t1 e t2) em que é feita a subtração pixel a pixel e produzida uma terceira imagem que representa as mudanças entre as duas datas (MAS, 1999; SILVA, E. 2004; SILVA, A. 2004). A Imagem Diferença realça as mudanças ocorridas dentro de um determinado recorte temporal e espacial, podendo ser aplicada com objetivo de realçar alvos como expansão de áreas urbanas, mudanças no uso da terra, diferenças sazonais na vegetação, desmatamento ou desflorestamento.

*Técnica de ACP* - a análise por componentes principais é uma técnica de transformação linear que é utilizada com diferentes propósitos: realce de bandas, decorrelação de bandas, classificações, compressões de dados, simulação de bandas pancromáticas, até detecção de mudanças (CONESE *et. al.*, 1988). O seu uso é analisado para detecção de mudanças e analiticamente seu algoritmo de funcionamento é tratado como uma rotação controlada por matriz de covariância – RCMA; este nome foi utilizado para incluir a ACP na família algébrica dos algoritmos de rotação.

*Técnica de pós-classificação* - esta técnica se baseia na obtenção de mapas temáticos de cada data com a maior precisão possível, independente do algoritmo utilizado, pois há que se considerar sempre o efeito multiplicativo do erro nestas comparações, (KIEL, 2008).

Cada mapa é confrontado com seu anterior por subtração, de forma a gerar um novo mapa temático resultante desta diferença e uma tabela de mudanças entre as classes, do tipo “de-para”. Alguns autores consideram opcional a correção atmosférica nesta técnica, haja vista a comparação não se dar diretamente entre as bandas das imagens, mas sobre o resultado da classificação delas. Desta forma, a informação radiométrica original poderia

ter sido utilizada, mas devido aos fins comparativos, uma opção é utilizar os subconjuntos corrigidos das imagens. Para a definição das classes deve-se levar em conta a presença delas em todas as imagens e a representatividade dentro das cenas.

Das técnicas utilizadas para detecção de mudanças, utilizou-se a técnica do *NDVI* e da pós-classificação. Para tanto, seguiram-se os seguintes procedimentos: das quatro cenas utilizadas, tomou-se como verdade a cena mais recente, que é a de 2008, a qual foi considerada como ano base para comparar com as demais. Com exceção das classes água e área urbana, coletaram-se pelo menos 100 pixels de cada classe para fazer a classificação das imagens. A partir destes pontos fez-se a caracterização radiométrica para ver as respostas espectrais de cada uma delas. Em seguida, a partir da imagem do *NDVI* do segundo período (ano comparado com o ano base), fatiou-se a imagem em faixas de intervalos (0,05 a 0,05), gerando uma matriz para cada ano. Estas matrizes foram cruzadas entre si pelo método da tabulação cruzada para verificar o percentual de mudança entre elas.

### **Seleção das imagens**

Como critério para a seleção das imagens definiu-se um período superior a 10 anos entre as imagens, para avaliar a

mudança no período. Como segundo critério, definiu-se também que cada imagem abrangesse respectivamente um período seco e um período úmido consecutivo, para avaliar a variabilidade sazonal. Assim, buscou-se formar 2 conjuntos de imagens, compondo uma variação temporal no período e uma variação temporal sazonal, formando assim um conjunto de 4 imagens. Segundo a disponibilidade das imagens do site do INPE e a cobertura de nuvens, foram selecionadas as imagens 1993 (seco)/ 1994 (chuvoso) e 2007(seco)/ 2008 (chuvoso), que, apesar de estarem em anos diferentes, correspondem aos períodos de variação sazonal consecutivos.

### **Algoritmos das classificações supervisionadas**

A classificação de imagens se caracteriza por apresentar dois tipos de algoritmos estatísticos: supervisionada e não-supervisionada. A escolha de um ou outro método irá depender do objetivo do trabalho, tipo de imagem e conhecimento da área por parte do usuário. Levando-se em conta estes critérios, adotou-se aqui a classificação supervisionada. Este tipo de classificação depende que as amostras de treinamento sejam representativas das classes presentes na imagem. Assim, o algoritmo classifica os pixels, comparando-

o exaustivamente com cada classe existente, baseado em sua média e variância para cada classe. As amostras de treinamento devem ser em número representativo e uniforme.

Segundo Jensen (1996), os algoritmos estatísticos de classificação supervisionada mais conhecida são: o método paralelepípedo que considera uma área na forma de quadrado ou paralelepípedo ao redor da amostra de treinamento, os lados constituem os chamados limites de decisão; o método da distância mínima até a média que atribui cada pixel à classe cuja média é mais próxima dele; e o método da máxima verossimilhança que é um método de classificação supervisionado que estima o vetor médio da matriz de variância e covariância de cada classe, assumindo-se que a frequência de distribuição dos *pixels* de cada classe possua probabilidade de distribuição normal (MATHER, 1999). Nesse método, a fase de treinamento é essencial para fornecer um conjunto de *pixels* representativos de cada alvo na imagem. Os *pixels* escolhidos devem representar fielmente suas respectivas classes (MOREIRA, 2005).

Entre os algoritmos da classificação supervisionada, classificação utilizada em nosso trabalho, o Máxima Verossimilhança é o mais difundido; ele

pressupõe que os níveis de cinza de cada classe seguem uma distribuição normal multivariada. Este classificador avalia as probabilidades que um determinado pixel tem de pertencer às classes identificadas e o designa àquela cuja probabilidade é maior, (SANTOS 2005). Sendo assim, devido às vantagens referidas, este foi o método utilizado em nosso trabalho.

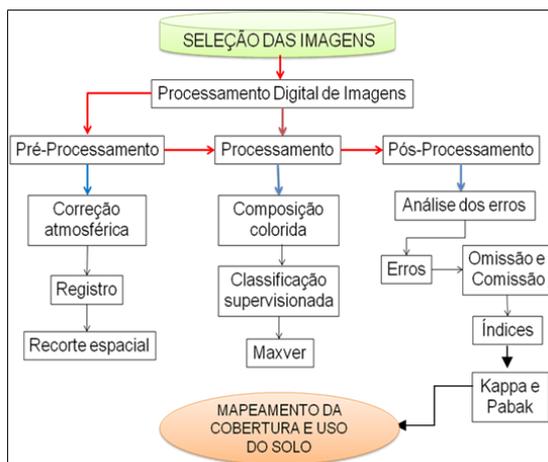
As amostras foram analisadas onde se permitiu um grau de confusão entre elas de, no máximo, 5% e um desempenho médio das amostras acima de 95%. Se a confusão entre classes fosse superior à 5%, as amostras eram deletadas e novas amostras coletadas, e novamente analisadas, num processo iterativo, até que os valores apresentados fossem adequados aos critérios estabelecidos. Nas classificações utilizou-se um limiar de aceitação do Maxver de 95%. Após a classificação, as áreas não classificadas foram reamostradas, para cada classe específica, as amostras analisadas e a imagem novamente classificada. Este processo se repetiu até aproximadamente 95 % da imagem ter sido classificada, dentro dos critérios estipulados. Após obter estes limiares, realizou-se uma classificação Maxver com limiar de aceitação de 100% para que todos os pixels da imagem fossem classificados.

**Classificações Maxver (1993, 1994, 2007 e 2008).**

Nas classificações supervisionadas do uso e cobertura do solo utilizadas nas quatro imagens selecionadas para este trabalho, foram identificadas e selecionadas cinco principais classes (água, área urbana, caatinga, pastagem e solo exposto). Ressalta-se que, destas classes, criou-se uma máscara para a área urbana, considerando-se o crescimento urbano pouco significativo, onde seu valor foi considerado constante em todo o período de análise.

Os procedimentos para as classificações seguiram os passos conforme o fluxograma da Figura 02.

Figura 02: Fluxograma metodológico para a classificação de imagens.



As amostras foram analisadas onde se permitiu um grau de confusão entre elas de, no máximo, 5% e um desempenho médio das amostras acima de 95%. Se a

confusão entre classes fosse superior à 5%, as amostras eram deletadas e novas amostras coletadas, e novamente analisadas, num processo iterativo, até que os valores apresentados fossem adequados aos critérios estabelecidos. Nas classificações utilizou-se um limiar de aceitação do Maxver de 95%. Após a classificação, as áreas não classificadas foram reamostradas, para cada classe específica, as amostras analisadas e a imagem novamente classificada. Este processo se repetiu até aproximadamente 95 % da imagem ter sido classificada, dentro dos critérios estipulados. Após obter estes limiares, realizou-se uma classificação Maxver com limiar de aceitação de 100% para que todos os pixels da imagem fossem classificados.

**Pós-classificação**

A Pós-classificação é um tipo de técnica de detecção de mudanças que não utiliza comparações diretas imagem a imagem. Baseia sua etapa de detecção em comparações de resultados obtidos a partir de classificação realizada sobre as imagens originais (KIEL, 2008). Após a classificação das imagens, foram confrontados os resultados destas. Utilizou-se a classificação da imagem de 2008 como referência em relação as demais, e obteve-se as alterações das classes entre as imagens dos quatro anos analisados.

## RESULTADOS

*NDVI de 1993, 1994, 2007 e 2008, e conversão dos mesmos em grade numérica*

A figura 03 apresenta as imagens dos NDVIs dos quatro anos trabalhados e o quadro 01 apresenta os intervalos e as áreas correspondentes a cada uma das cinco principais classes de cobertura e uso do solo.

O NDVI da imagem de 1993 apresenta variação nos intervalos que variam de (-1,0 a 0,7). Pela configuração das cores que representam os intervalos das classes, observa-se grande predominância em termo de área da classe solo exposto correspondente ao intervalo que varia de 0,0 a 0,08. A outra classe que mais predomina na imagem é a classe de pastagem representada pelo intervalo entre 0,081 a 0,2 com 173 km<sup>2</sup>. Pelo que se conhece da área, o intervalo entre 0,21 a 0,7 do NDVI desta imagem corresponde a classe de caatinga misturada com plantação de agave e registra uma área de 55 km<sup>2</sup>.

A imagem de 1994 apresentou o NDVI com o maior intervalo, variou de (-1,0 a 0,85). Ao contrário da marcante presença em 1993, a classe solo exposto não foi considerada em nenhum dos intervalos da imagem de 1994. O intervalo correspondente a classe água -1,0 a 0,05 apresentou 0,7 km<sup>2</sup> de área. Com 120,3

km<sup>2</sup>, a classe pastagem diminuiu sua área em relação ao ano de 1993. O intervalo correspondente a 0,51 e 0,85, apresenta a maior área referente à classe de caatinga misturada com agave com 236 km<sup>2</sup>.

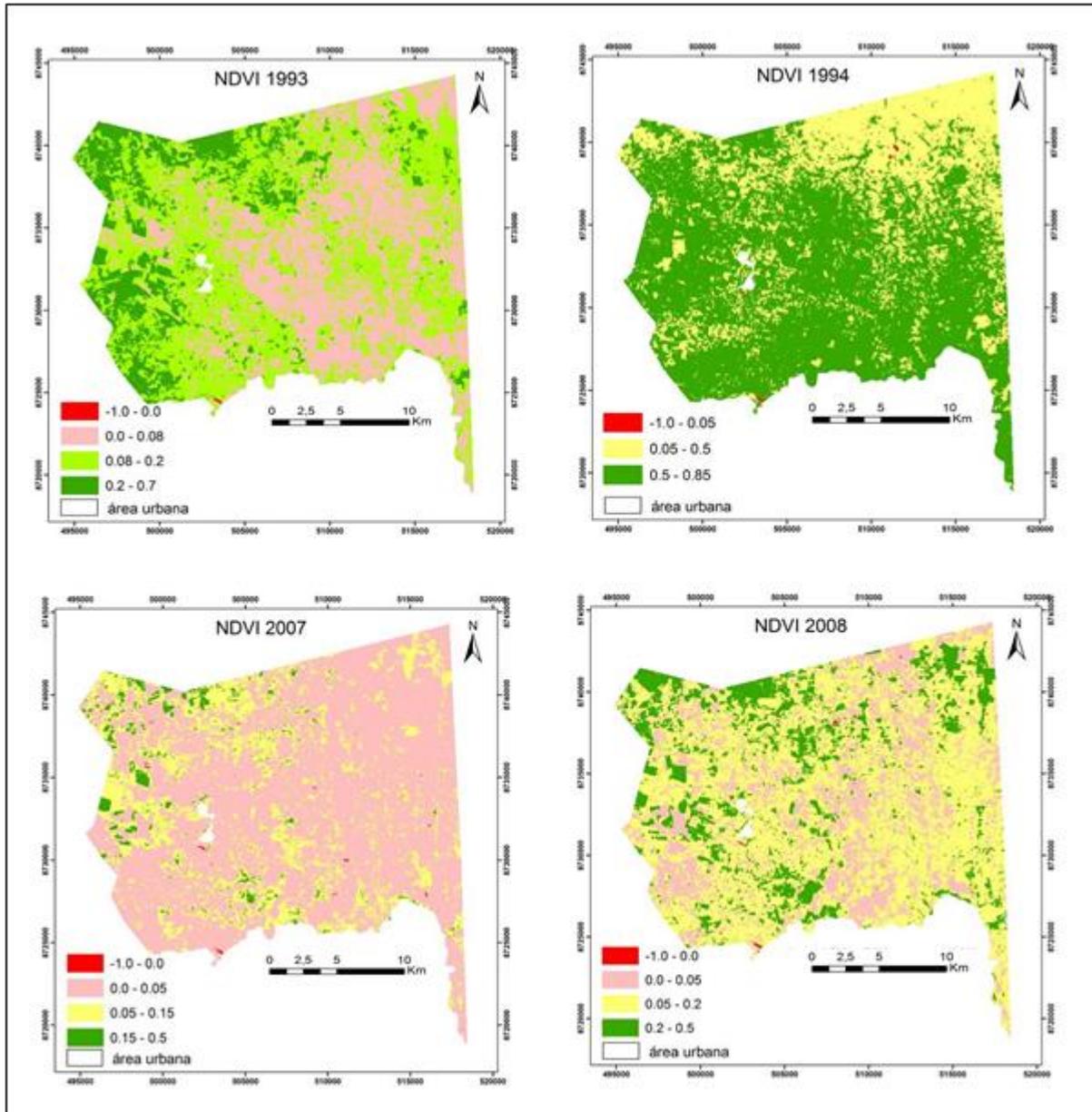
O NDVI correspondente a imagem 2007, apresentou variações nos intervalos de (-1,0 a 0,5). De todas as imagens de NDVIs trabalhadas, a deste ano foi a que apresentou maior área no intervalo correspondente a classe de solo exposto 257,6 km<sup>2</sup> do total da área. Essa predominância é decorrente da associação da classe solo exposto com a presença de vegetação rasteira e seca, que devido a sua condição biofísica apresentou assinatura espectral correspondente ao intervalo (0,01 a 0,05) na imagem do NDVI. O último intervalo apresentado (0,151 a 0,5) registrou apenas 11 km<sup>2</sup> do total da área, isso mostra que realmente a vegetação estava passando por um período senescente a seco, por isso, não houve nenhum registro para os intervalos acima de 0,5 no NDVI deste ano.

O ano de 2008 corresponde a última imagem de NDVI analisada. Assim como o NDVI de 2007, o deste ano também apresentou intervalos de classes entre (-1,0 a 0,5). Mas ao contrário da representação de 2007 que registrou predominância nos intervalos correspondentes ao solo exposto, a deste ano apresentou hegemonia da classe

pastagem com 207,5 km<sup>2</sup>. O último intervalo do NDVI deste ano (0,21 a 0,5),

correspondente à classe caatinga misturada com agave, registrou uma área de 58 km<sup>2</sup>.

Figura 03: Disposição dos NDVIs nas imagens de 1993, 1994, 2007 e 2008.



### Mapeamento do uso e cobertura do solo usando a Classificação Maxver (1993, 1994, 2007 e 2008)

A figura 04 apresenta o resultado das classificações maxver realizadas nas

quatro imagens e o quadro 02 apresenta os valores das áreas de cada classe em cada ano das classificações.

Na classificação do ano de 1993, a classe que mais se destaca em termos de

área é a classe de pastagem com 211 km<sup>2</sup>. A segunda classe mais expressiva foi a de solo exposto que se encontra distribuída por quase toda a área do município, isto se deve principalmente por este ter sido um dos períodos mais secos nos últimos tempos na região com índice pluviométrico de

312,7mm apenas (HIDROWEB, 2010). Em seguida, a classe caatinga aparece em terceiro lugar em termo da área com 69 km<sup>2</sup>. Registrando a menor porção do território, a classe água identificada nesta imagem possui apenas 0,22 km<sup>2</sup>.

Quadro 1: Intervalos e áreas das classes dos NDVIs das imagens em cada ano

Intervalos das classes e áreas do NDVI em 1993		Intervalos das classes e áreas do NDVI em 1994	
Intervalos	km <sup>2</sup>	Intervalos	km <sup>2</sup>
-1,0 - 0,0	0,1	-1,0 - 0,05	0,7
0,01 - 0,08	128,9	0,051 - 0,5	120,3
0,081 - 0,2	173	0,51 - 0,85	236
0,21 - 0,7	55	<b>Total</b>	<b>357</b>
<b>Total</b>	<b>357</b>		

Intervalos das classes e áreas do NDVI em 2007		Intervalos das classes e áreas do NDVI em 2007	
Intervalos	km <sup>2</sup>	Intervalos	km <sup>2</sup>
-1,0 - 0,0	0,5	-1,0 - 0,0	0,4
0,01 - 0,05	91	0,01 - 0,05	257,6
0,051 - 0,2	207,5	0,051 - 0,15	88
0,21 - 0,5	58	0,151 - 0,5	11
<b>Total</b>	<b>357</b>	<b>Total</b>	<b>357</b>

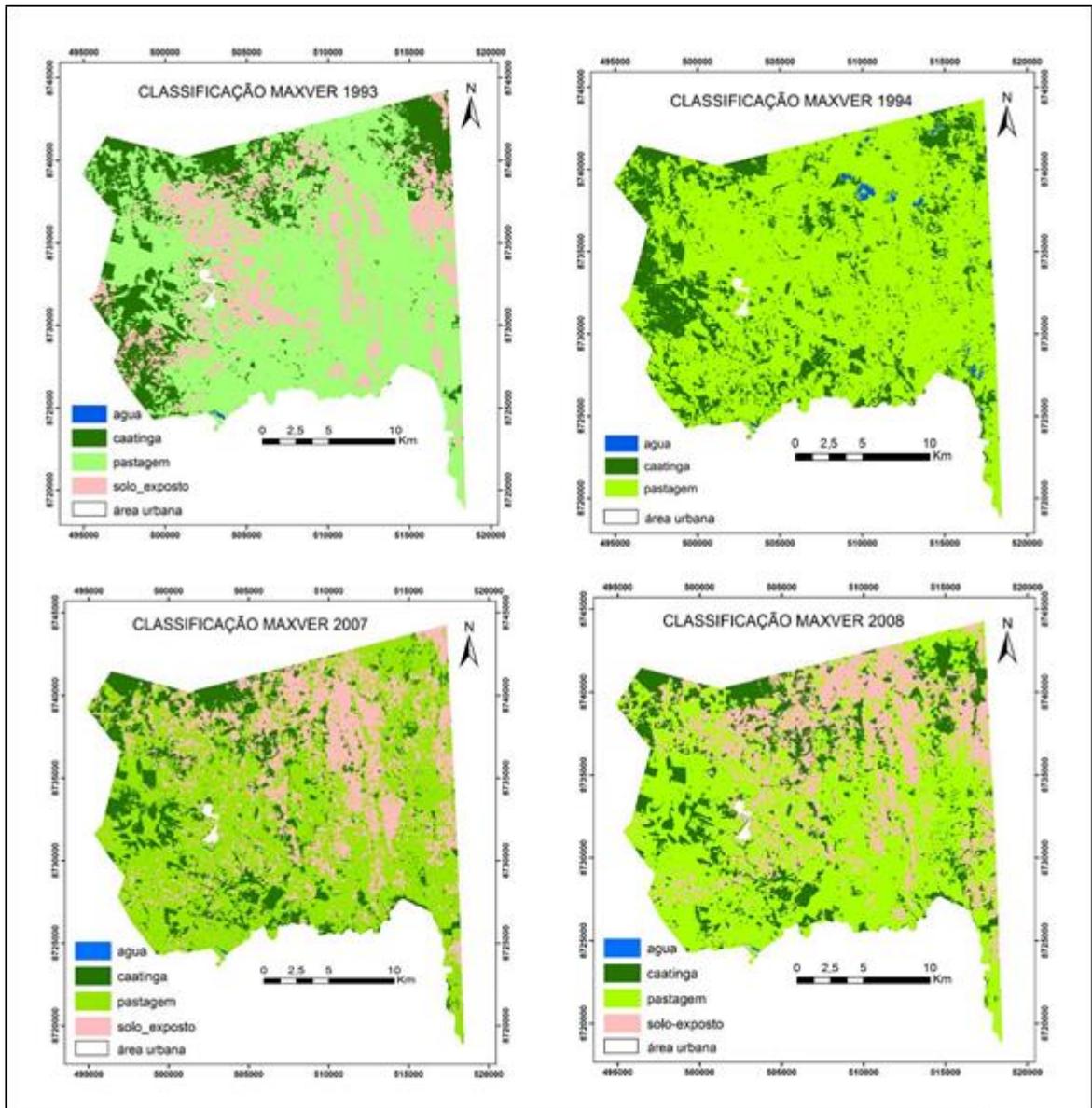
Ao contrário do ano anterior, que foi marcado por forte estiagem, na classificação do ano de 1994, registrou-se considerável índice pluviométrico (804,5 mm) na região, (HIDROWEB, 2010). Devido a esta variedade no índice pluviométrico, as áreas das classes identificadas neste ano, foram bastante alteradas em relação ao ano anterior. Uma

das principais alterações diz respeito à classe de solo exposto que não foi identificada neste ano, passando a ser classificada como pastagem e caatinga. Isto foi possível porque a vegetação que estava seca e senescente classificada como solo exposto anteriormente brotou e floresceu modificando as áreas para vegetação verde e alterando os valores de radiância na faixa

do espectro eletromagnético, devido à atuação da clorofila das plantas. A caatinga e a pastagem passaram a possuir uma área

de 76,5 km<sup>2</sup> e 276,5 km<sup>2</sup> respectivamente. A Classe água aumentou sua área de 0,22 km<sup>2</sup> para 1,89 km<sup>2</sup>.

Figura 04: Classificação maxver de 1993, 1994, 2007 e 2008



A classificação de 2007 apresenta as classes de solo exposto e caatinga com percentual de 26,16% e 17,68% respectivamente do total da área. Esses

valores são referentes a um período que foi considerado seco para época, mas menos expressivo que o período registrado em 1993, por isso observa-se uma diferença,

não muito extensa, entre as duas classificações. A classe pastagem apresentou mais da metade da área total com 200 km<sup>2</sup> de área. Esse menor valor em relação ao ano de 1994 se atribui a não identificação da classe solo exposto em 1994, e ao reaparecimento dessa com um total de 93,4 km<sup>2</sup> em 2007 oriunda principalmente da classe pastagem.

Na classificação de 2008 observa-se que o aumento ou a perda dos valores das áreas das classes em relação a 2007 foram pequenos. Na classe solo exposto foi apenas de 0,6 km<sup>2</sup>. A pastagem aumentou em 0,44 km<sup>2</sup> de sua área anterior. As classes de caatinga e de água perderam 1 km<sup>2</sup> e 0,04 km<sup>2</sup> respectivamente do total de suas áreas quando comparado com a classificação feita em 2007. As pequenas alterações assinaladas nas classes se devem pela pequena diferença temporal entre os anos e também pela pequena diferença pluviométrica (menos de 80mm).

De acordo com as análises feitas sobre as classificações em cada ano, exceto para a classe área urbana que permaneceu com a mesma área, observa-se que a classe que mais variou no tamanho da área do período estudado foi a classe de solo exposto. Enquanto em 1993 registrou-se 74,69 km<sup>2</sup> de área, no ano seguinte não foi classificada nenhuma área para esta classe, passando a ser classificada como caatinga e

pastagem, principalmente esta última que após as precipitações na região fez o capim e outros vegetais florescerem dando uma nova fisionomia paisagística, o que fez com que a reflectância dessas áreas passassem a ser consideradas como da classe pastagem e não mais de solo exposto. Nos anos posteriores (2007 e 2008), esta classe voltou a ser identificada e os valores das áreas mantiveram-se mais equilibrados com alteração de menos de 1 km<sup>2</sup> de área.

A segunda classe que mais alterou os valores de sua área foi a pastagem. Registrou-se 211 km<sup>2</sup> em 1993, enquanto que em 1994 o valor apresentado foi de 276,5 km<sup>2</sup>. Neste caso, a classe que perdeu área foi a de solo exposto devido à presença da chuva na área de estudo. A classe caatinga, terceira mais expressiva em termo de alteração no recorte temporal estudado, teve seu maior pico também nos anos entre 1993 (seco) e 1994 (chuvoso), aumentando sua área de 69 para 76,5 km<sup>2</sup> respectivamente. Ressalta-se, que esse aumento está relacionado com a mudança da radiância dos alvos nos dois períodos (seco e chuvoso), isso quer dizer que, não houve aumento da área da vegetação caatinga neste período, mesmo porque o que ocorre é o contrário, ou seja, a caatinga vem perdendo sua área a cada ano devido a atuação predatória da sociedade.

Quadro 02: Áreas das classes das quatro classificações

Área das classes em 1993		Área das classes em 1994	
Classes	Valor em km <sup>2</sup>	Classes	Valor em km <sup>2</sup>
Água	0,22	Água	1,89
Área urbana	2,11	Área urbana	2,11
Caatinga	69	Caatinga	76,5
Pastagem	211	Pastagem	276,5
Solo exposto	74,69	Solo exposto	0
<b>Total</b>	<b>357</b>	<b>Total</b>	<b>357</b>

Área das classes em 2007		Área das classes em 2008	
Classes	valor em km <sup>2</sup>	Classes	Valor em km <sup>2</sup>
Água	0,49	Água	0,45
Área urbana	2,11	Área urbana	2,11
Caatinga	61	Caatinga	60
Pastagem	200	Pastagem	200,44
Solo exposto	93,4	Solo exposto	94
<b>Total</b>	<b>357</b>	<b>Total</b>	<b>357</b>

Na verdade o que houve foi que em 1993, além das áreas já consideradas de solo exposto, ocorreu uma forte estiagem na região, como isso, muitas áreas de vegetação caatinga e pastagem por estarem com as folhas secas e senescentes foram classificadas como solo exposto, voltando a serem classificadas como pastagem e caatinga no ano de 1994 (chuvoso), por isso, essa alteração de “falso aumento” da classe caatinga entre esses dois anos. Após o período chuvoso, o valor da nova classificação da classe caatinga decresce para 61 km<sup>2</sup> em 2007 e alterou menos de 0,1% de sua área na classificação de 2008.

A classe área urbana, por uma questão metodológica e por esta não

apresentar uma expressiva dinâmica espaço-territorial no recorte temporal da área de estudo, foi considerada com o mesmo valor da área para os quatro anos. A classe água obteve alterações significativas em seu valor total, variou de 0,2 km<sup>2</sup> em 1993 para 0,45 km<sup>2</sup> em 2008. Dois fatores contribuíram diretamente para os aumentos registrados no período: primeiro, em 1993 registrou-se um período de estiagem prolongado e, segundo, durante este período aumentou o número de açudes e represas no município.

#### **Tabulação cruzada entre os NDVIs e as classificações Maxver**

A partir dos resultados do NDVI e da classificação maxver, pode-se determinar o intervalo de ocorrência do valor do NDVI para cada classe identificada. Verificou-se, entretanto, que os valores dos intervalos das classes

modificaram-se durante os anos acompanhando a alteração da biomassa e o teor de água no solo. Desta forma, definiram-se os seguintes valores de NDVI para cada classe conforme os anos, (Tabela 01).

Tabela 01: Intervalos das classes do NDVI em cada ano

anos	água	caatinga	pastagem	Solo exposto
1993	< 0,0	0,0 – 0,08	0,08 – 0,2	0,2 – 0,7
1994	< 0,05	0,05 – 0,5	0,5 – 0,85	—
2007	< 0,0	0,0 – 0,05	0,05 – 0,15	0,15 – 0,5
2008	< 0,0	0,0 – 0,05	0,05 – 0,2	0,2 – 0,5

Após os resultados obtidos dos NDVIs e das classificações, foram feitas as tabulações cruzadas entre os mesmos para analisar se os pixels referentes às classes em cada classificação correspondiam aos valores dos pixels referentes às classes originadas do fatiamento do NDVI. Ressalta-se que nas tabulações realizadas a classe de área urbana não foi inclusa, sendo esta considerada uma variável constante para todos os anos.

Ao realizar a tabulação cruzada entre a classificação maxver de 1993 e as classes de NDVI do mesmo ano (Tabela 02), observa-se que, do total dos pixels correspondentes ao intervalo da classe água apenas 09 faziam parte de outra classe. Para o intervalo considerado de solo exposto, verifica-se que há presença de pixels de todas as outras classes, destacando-se a

classe de pastagem, que inclusive supera o valor total dos pixels da classe correspondente ao intervalo. Para a classe pastagem, observa-se também a presença de pixels nas demais classes com destaque para a classe de solo exposto com quase a mesma quantidade de pixels. A classe caatinga acusou a presença de pixels das classes solo exposto e pastagem com maior representatividade para esta última.

Os resultados apresentados nesta tabulação mostraram uma confusão entre os pixels dos intervalos que correspondem as classes de solo exposto e pastagem. Quando analisa-se o intervalo correspondente a classe de solo exposto observa-se um percentual de 67,49% da classe pastagem. E ao analisar a classe de pastagem, o maior percentual dos outros

tipos de classe neste intervalo corresponde ao de solo exposto com 49,49%.

Tabela 02: Tabulação cruzada entre o NDVI e a classificação Maxver de 1993

Classes de uso (1993)	NDVI			
	< 0,0	0,0 – 0,08	0,08 – 0,2	0,2 – 0,7
água	90	113	8	0
caatinga	0	479	1060	52264
pastagem	9	93412	139651	864
solo exposto	0	44402	137906	620

Em 1994 a tabulação cruzada apresentou apenas três classes e três intervalos que variaram de (-1,0 – 0,85), (Tabela 03). No intervalo representando a classe água houve uma forte presença de pixels representando a classe pastagem. Uma hipótese para esse fato é a presença de sedimentos e a turbidez da água nas áreas classificadas como dessa classe. No intervalo da classe pastagem, registrou-se um total de 10,45% dos pixels representando as classes caatinga e água. Com uma melhor representação entre as classes e seus respectivos intervalos, a classe caatinga registrou apenas 0,29% pixels que não correspondiam a essa classe.

Para a tabulação de 2007 (Tabela 04) os intervalos variaram entre (< 0 a 0,5). Do total dos pixels representando a classe água 28,93% deles representavam as classe de solo exposto e pastagem, principalmente esta última devido a turbidez da água que

gera confusão na reflectância do pixel por causa da mistura espectral dos elementos presentes. O intervalo que representa a classe de solo exposto apresenta forte presença da classe pastagem com 68,48% dos pixels do total, isso demonstra que há uma dificuldade em separar esta duas classes nos intervalos do fatiamento do NDVI. O mesmo pode-se dizer para o intervalo correspondente a classe pastagem quando se observa a presença de 43,24% dos pixels representando a classe caatinga. De todas as classes analisada nesta tabulação, a que melhor apresentou correspondência com o intervalo foi a classe de caatinga que apresentou apenas 0,64% dos pixels que não correspondiam a reflectância deste intervalo.

A tabulação cruzada de 2008 (Tabela 05) apresentou 32,37% dos pixels do intervalo da classe água para outras classes. Do total dos pixels referentes ao

intervalo de solo exposto, 44,01% estão representando a classe de pastagem e 0,26% representam as outras classes. No intervalo da classe pastagem, 36,76% dos pixels correspondem às outras classes,

principalmente à classe de solo exposto. No intervalo da classe caatinga, 16,52% dos pixels representam as classes de solo exposto e pastagem, com destaque para esta última.

Tabela 03: Tabulação cruzada entre o NDVI e a classificação Maxver de 1994

Classes de uso 1994	NDVI		
	< 0,05	0,05 – 0,5	0,5 – 0,85
água	261	2839	3
caatinga	0	10162	66869
pastagem	200	111363	195

Tabela 04: Tabulação cruzada entre o NDVI e a classificação Maxver de 2007

Classes de uso 2007	NDVI			
	< 0,0	0,0 – 0,05	0,05 – 0,15	0,15 – 0,5
água	290	158	3	0
caatinga	0	381	32169	11930
pastagem	91	192665	39412	61
solo exposto	13	88129	1959	17

Tabela 05: Tabulação cruzada entre o NDVI e a classificação Maxver de 2008

Classes de uso 2008	NDVI			
	< 0,0	0,0 – 0,05	0,05 – 0,2	0,2 – 0,5
água	236	165	3	0
caatinga	0	11	15153	55608
pastagem	39	26752	151090	8962
solo exposto	74	33849	61875	2045

Na análise realizada sobre as tabulações cruzadas, observa-se que em todas as tabulações feitas há dificuldade para se separar os pixels referentes a cada

tipo de classe identificada. Essa dificuldade se dá devido à quantidade de biomassa e também pelo teor de umidade do solo referente a cada uma das classes,

ocasionando mistura espectral nos pixels referentes aos intervalos das mesmas.

## CONCLUSÃO

As alterações ocorridas entre as áreas das classes durante o recorte temporal analisado, não são decorrentes somente das mudanças da cobertura do solo da área, mas também do uso desta. Ou seja, uma área considerada solo exposto pode passar a ser usada como agricultura temporária ou pastagem no período chuvoso alterando a área desta classe e logo após o período úmido, voltar a fazer parte da classe solo exposto.

A variação da mudança da área da caatinga, devido à sazonalidade também é bastante significativa, uma vez que, o classificador pode confundir áreas de caatinga com classes de pastagem no período seco, por causa das características biofísicas da vegetação e o contrário quando ocorre o período chuvoso.

As maiores dificuldades ocorrem em separar as áreas das classes de solo exposto e pastagem. As características espectrais dessas classes no período seco são parecidas, ocasionando confusão na detecção da mudança entre elas, caracterizando-se então, num jogo entre as áreas dessas classes que são confundidas na hora da classificação. Pode-se observar, então, que a classificação não é estanque, e

sim dinâmica, o que leva as alterações das áreas das classes na área pesquisada.

## AGRADECIMENTO

Agradeço a professora Rosângela Leal pelo compromisso e dedicação nas orientações. Agradeço também a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (Fapesb), pelo apoio financeiro concedido.

## REFERÊNCIAS

- BAHIA**, Superintendência de Recursos Hídricos (SRH). CD ROM SIG Bahia, 2003.
- BARBOSA, D. C. A., Barbosa, M. C. A., & Lima, L. C. M. 2003. **Fenologia de espécies lenhosas de caatinga** In: Leal IR, Tabarelli M, Silva JMC (Eds.) Ecologia e conservação da Caatinga, Editora Universitária (UFPE), Recife, pp.657- 693.
- Comput. Surv.*, 31(3):264–323. (1999).
- <http://hidroweb.ana.gov.br> – séries históricas. Acessado em 18-08-2010.
- IBGE – (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), **Processamento Digital de Imagens**. Rio de Janeiro: IBGE, 2001.
- CONESE, C.; M., G.; M., F.; M., F.; Sacco, V. M. Forest classification principal component analyses of TM data. **International Journal of Remote Sensing**, v.9, n.10, p.1597-1612, Oct 1988.
- JENSEN, J.R. 2nd ed. Introductory image processing: **A remote sensing perspective**. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ. 1996.

KIEL, Roberto. **Detecção de mudanças no uso e na cobertura do solo em uma série temporal de imagens da região da campanha do Rio Grande do Sul.**

Dissertação de Mestrado, Porto Alegre, 2008.

MACHADO, I. C., BARROS, L. M. & SAMPAIO, E.V. S. B.. 1997. Phenology of caatinga species at Serra Talhada, PE, Northeastern Brazil. **Biotropica** 29: 57-68.

MAS, J. F. Monitoring land-cover changes: a comparison of change detection techniques. **International Journal of Remote Sensing**, Londres, v.20, n.1, p. 139-152, 1999

MATHER, P. M. **Computer processing of remotely-sensed images.** 2. ed. Chichester: John Wiley & Sons, 1999.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação.** 3. ed., atual, ampl. Viçosa: Ed. UFV, 2005.

RIDD, M. K.; LUI, J. **A comparison of four algorithms for change detection in an urban environment.** *Remote Sens. Environ*, 63: 95-100. 1998.

SAMPAIO, V.E.S.B.. Overview of the Brazilian caatinga. Pp. 35-63. In: Bullock, S.H.; Mooney, H.A.; Medina, E. (eds.) **Seasonally dry tropical forests.** Cambridge: Cambridge University Press, 1995.

SANTOS, Rosângela Leal. **O uso de processamento digital do sensor Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) na identificação de horizontes coesos em solos dos Tabuleiros Costeiros da Bahia.** São Paulo, 2005. 195 p.

SILVA, A. B. **Sistema de informações Geo-referenciadas: conceitos e**

**fundamentos.** Campinas São Paulo: Unicamp, 2003.

SILVA, E. T. J. B. **Utilização dos índices de Vegetação do Sensor MODIS para detecção de Desmatamentos no Cerrado: Investigação de Parâmetros e estratégias.** 2004, 146 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

SONG, RX, McPherson RA, Adam L, Bao Y, Shupnik M, et al. (2001) **Linkage of rapid estrogen action to MAPK activation by ERalpha-Shc association and Shc pathway activation.** *Mol Endocrinol* 16: 116-127