
GEOPROCESSAMENTO APLICADO À ANÁLISE ESPACIAL-TEMPORAL DA DINÂMICA DUNAR SOBRE A LAGOA DO PORTINHO NO LITORAL PIAUIENSE.

SUSANE LAÍS DA SILVA CHAVES¹
MARINALVA DE OLIVEIRA LIMA^{2,3}
LINEARDO FERREIRA DE SAMPAIO MELO³

Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Piauí – IFPI^{1,2}
Departamento de Informação, Ambiente e Saúde
Rua Quintino Bocaiúva, 93 - Centro (Sul), Teresina - PI, 64002-370
Instituto Federal de Tocantins – IFTO³
Gerência de Ensino Superior e Pós-Graduação, Araguatins - TO

susanelais@oi.com.br, nalvalimasr@hotmail.com, lineardo@ifto.edu.br

RESUMO - A evolução da informática contribuiu para a geração de técnicas de análise de dados geoespaciais. Assim, o processamento de imagens digitais se tornou mais rápido, eficiente e preciso comparado a técnicas retrógradas. Neste contexto, este trabalho visa servir como fonte de pesquisa para mitigar o assoreamento existente na Lagoa do Portinho localizada no litoral piauiense. Através do processamento digital de imagens, com a técnica da classificação pixel a pixel supervisionada Máxima-Verossimilhança, foi realizada a mensuração e espacialização da área ocupada pelos bancos de areia nos limites da lagoa e a sua crescente evolução entre os anos de 2000, 2010 e 2015. Foram usadas imagens dos satélites TM/Landsat -5 e Landsat 8/OLI TIRS. Este trabalho se torna considerável para estudos que gerem iniciativas as quais minimizem o impacto ambiental na região, o qual tem como consequências no local: a perda da biodiversidade na bacia hidrográfica, alteração no microclima da região, redução de uso das águas para fins recreativos e prejuízos das atividades econômicas promovidas pelo turismo.

ABSTRACT - The informatic evolution contributes to the generation of geospatial data analysis techniques. So, the digital image processing became faster, efficient and accurate compared to retrograde techniques. In this context, this paper aims to serve as a research source to mitigate the existing silting in Lagoa do Portinho located in Piauí coast. Through digital image processing, with the technique of pixel classification supervised pixel Maximum-Likelihood, the measurement and spatial distribution of the area occupied by sandbanks in the lagoon limits and its growing evolution in the years 2000, 2010 and 2015 was carried out. They were used satellite images TM / Landsat -5 and Landsat 8 / OLI TIRS. This work becomes important for studies that generate initiatives that minimize the environmental impact on the region, that has as a local consequences: loss of biodiversity in the watershed, change in the microclimate of the region, reduced use of water for recreational purposes and damages of economic activities promoted by tourism.

1. INTRODUÇÃO:

Com a dinamização crescente da tecnologia no fim do século XX e início do século XXI, processos como a exploração de dados geoespaciais também foram atingidos por essa evolução. Assim, técnicas investigatórias foram aperfeiçoadas para melhor eficiência e rapidez nos estudos de imagens de sensoriamento remoto (IBGE, 2001).

Dentre outras aplicações importantes que se utilizam desse estudo, este trabalho se restringe ao monitoramento espacial-temporal das dunas que delimitam a Lagoa do Portinho. O corpo d'água separa Parnaíba do município de Luís Correia, região litorânea do Estado. A maior porção das margens da lagoa se situa no território parnaibano (SEMAR, 2015).

A região é conhecida pelo turismo, porém encontra-se ameaçada pelo processo acelerado das dunas de areia em direção à lagoa. Luke (2008) afirmou que, os corpos arenosos são sensíveis às pressões antrópicas e naturais. Os sedimentos são transportados pelas fortes correntes de vento que movimentam principalmente as dunas não vegetadas, gerando assim, uma topografia dunar dinâmica.

A avaliação do uso da terra, na área de um corpo d'água, é relevante, pois ela influencia nas características limnológicas deste ambiente, que recebe todo o material e fluxo energético (água, carga sólida e dissolvida) das bacias ou sub-bacias que nele deságuam. Isso ocorre principalmente em áreas de preservação permanente (APP) atingidas pela ação antrópica e natural (SARTOR, 2008). Segundo Rodriguez (2015), fenômenos ocorridos em um determinado local podem influenciar o ecossistema de lugares longínquos, pelo fato do meio ambiente ser abrangente e complexo.

A hipótese é de que o impacto ambiental causado por este fenômeno se intensificou nos últimos quinze anos, dando importância assim, ao estudo do uso e ocupação do solo nesta região através da mensuração e espacialização da área, a fim de gerar políticas públicas que desacelerem os prejuízos deste fato.

Desta forma, foi realizada análise espacial-temporal das imagens do TM/Landsat-5 e Landsat-8 OLI/TIRS em um intervalo de 10 anos e 5 anos, respectivamente, para averiguar as mudanças de cobertura do solo na região da Lagoa do Portinho, nos municípios de Parnaíba e Luís Correia – PI.

2. ÁREA DE ESTUDO:

2.1 Municípios:

O município de Parnaíba está localizado entre as coordenadas: latitude $02^{\circ}54'17''$ e longitude $41^{\circ}46'36''$. Possui altitude de cerca de 5 metros na região do centro urbano, a qual é afastada do litoral, a topografia é bastante regular. Predominam na região a vegetação de igarapés e mangues nas margens dos rios e de caatinga, litorânea e da mata dos cocais no restante do território. Seus recursos hídricos são o Oceano atlântico, rios Parnaíba, Portinho, Igarçu e lagoas do Prado, do Portinho e da Prata.

Já o município de Luís Correia está delimitado na Latitude $02^{\circ}52'45''$ e Longitude $41^{\circ}40'01''$. Na região predomina a vegetação de restinga, de dunas e caatinga arbórea e arbustiva. Seus recursos hídricos são o Oceano Atlântico, Rios Carpina, Portinho, São Miguel, Ubatuba e Lagoas das Mutucas, do Sobradinho, da Santana, Portinho e do Jabuti.

Os dois municípios pertencem à microrregião litoral piauiense, o território de desenvolvimento é o da planície litorânea, estão localizados em terreno do cenozoico quaternário e o clima é descrito como tropical alternadamente úmido e seco, com duração do período seco de seis meses (CEPRO, 2013).

2.2 Lagoa do Portinho:

A área estimada da bacia hidrográfica da Lagoa do Portinho é de 41 mil hectares e o volume aproximado estimado da bacia hidráulica são de cinco milhões de m^3 , enquanto a vazão média natural afluyente corresponde a $2 m^3/s$ (SEMAR, 2015).

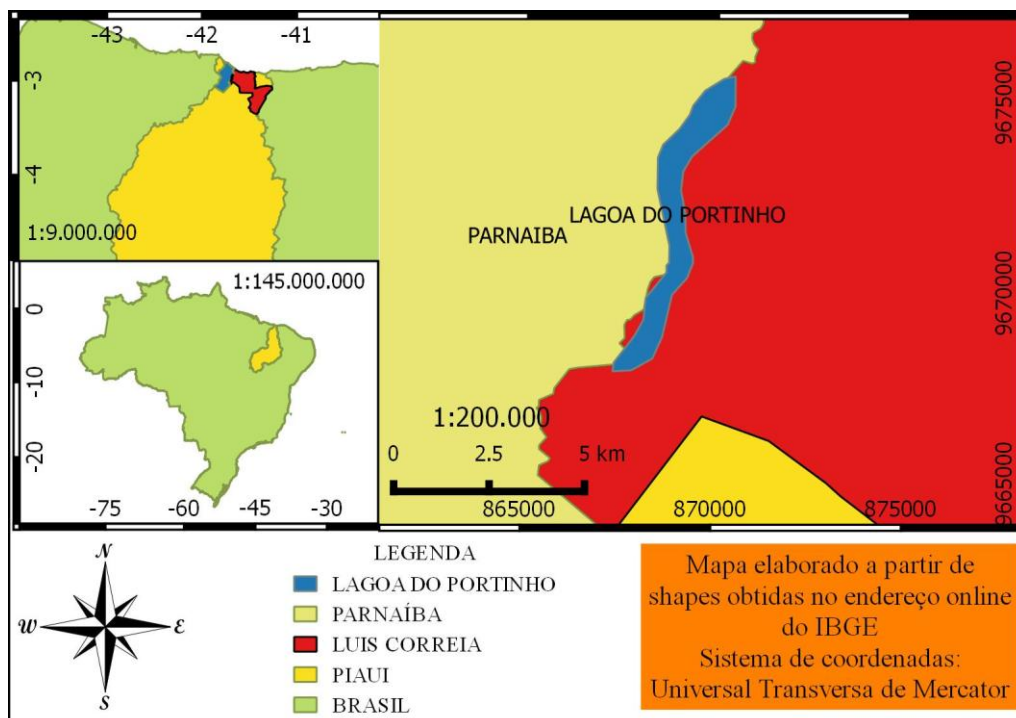


Figura 1 - Mapa de localização da lagoa do Portinho, litoral piauiense.

3. METODOLOGIA DE ESTUDO:

3.1 Dunas:

Diferentemente das dunas desérticas, as dunas de areia nas regiões costeiras formam-se quando a areia acumulada na costa é levada ao interior do continente pelo barlavento. Geralmente, elas são formadas na direção em que a brisa predomina (USGS, 1997). Nas regiões em que as épocas de baixa precipitação coincidem com as épocas de maior velocidade dos ventos, estão localizadas os maiores campos de dunas (DOMINGUEZ, 2009).

Segundo Pfaltzgraff (2010), as dunas presentes na região da Lagoa do Portinho – PI pertencem, dentro do domínio dos sedimentos cenozoicos eólicos (DCE), à unidade DCEm. DCE é constituído por duas unidades geológico-ambientais: DCEm e DCEf, onde se encontra a forma de relevo Campo de Dunas (recentes e paleodunas). A unidade DCEm é formada por dunas móveis (material arenoso inconsolidado), enquanto a unidade DCEf, também presente no litoral piauiense, é formada por Dunas fixas (material arenoso fixado pela vegetação).

A Resolução do CONAMA nº 303 (20 de março de 2002), Art. 3º, XI, define que todo e qualquer tipo de duna (paleoduna, duna móvel, duna fixa e duna semi-fixa) como Área de Preservação Permanente (APP). Assim como a Resolução do CONAMA nº 341 dispõe de uma série de critérios rigorosos em caso de atividades ou empreendimentos turísticos a ser realizada de forma sustentável. Desta forma, a ocupação em ambientes de dunas é totalmente irregular, podendo acarretar em perda da diversidade local, modificação da permeabilidade do solo, e principalmente, na modificação da dinâmica sedimentar litorânea.

3.2 Considerações sobre geoprocessamento:

A evolução da indústria da informática no final dos anos 90, com o aumento da capacidade de processamento e redução dos custos dos equipamentos, impulsionou a mudança na extração de informações das imagens de sensoriamento remoto que antes eram feitas por métodos analógicos. Nos últimos anos, verifica-se o aumento crescente da utilização do processamento digital de imagens.

Este recurso é útil para realçar e destacar aspectos de interesse específico a determinados temas e objetivos, pois seus aplicativos concedem diversas técnicas que investigam detalhes impossíveis de ser estudados pelo modo convencional. A importância dessa evolução no processamento, armazenagem e transmissão dos dados geoespaciais é relevante para a disseminação de informações indispensáveis para a sociedade (IBGE, 2001).

O sensoriamento remoto é a utilização conjunta de sensores em satélites ou aeronaves e equipamentos para aquisição e processamento de dados com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias componentes do planeta Terra, em suas mais diversas manifestações. Assim, o sensoriamento remoto constitui-se uma das mais bem sucedidas tecnologias de coleta automática de dados para o levantamento e monitoração do ambiente terrestre em escala global (MENESES et al., 2012).

As imagens coletadas pelos sensores são processadas por técnicas cada vez mais apuradas que trazem eficiência e rapidez aos estudos nas quais elas podem ser aplicadas. Para extrair informações das imagens é necessário estabelecer métodos de análises com regras claras e lógicas, para que possam ser replicadas por qualquer analista na interpretação do significado do dado. Daí, uma das técnicas para extrair informações de uma imagem é a classificação.

3.3 Classificação Supervisionada Pixel a Pixel Máxima Verossimilhança:

Um dos processos de classificação de imagens de sensoriamento remoto consiste em agrupar pixels de mesmos valores de refletância, com respostas espectrais dos alvos similares, resultando em uma imagem digital que constitui em um mapa temático de pixels classificados, representando em polígonos os padrões homogêneos de classes de alvos (mapa digital temático). Também, para assegurar uma boa classificação, as imagens são corrigidas dos efeitos atmosféricos, se severos, e da presença de ruídos.

A classificação de imagem pode ser supervisionada ou não supervisionada. Neste trabalho, foi selecionada a classificação supervisionada onde são escolhidas pequenas áreas de amostras na imagem, contendo poucas centenas de pixels, que sejam bem representativas espectralmente, de padrões ou feições dos alvos previamente reconhecidos, ou que podem ser identificados com a ajuda do *software* Google Earth.

Os classificadores supervisionados de imagem se dividem em: pixel a pixel e por região. A classificação pixel a pixel (a qual leva consigo a grande parte dos classificadores: Máxima Verossimilhança (MaxVer), Distância Mínima e Paralelepípedo) se utiliza somente da informação espectral de cada pixel para encontrar regiões homogêneas, a partir de medidas de distâncias ou de probabilidades de um pixel pertencer a uma classe específica. Na classificação por regiões

o processo de decisão leva em consideração um agrupamento de pixels que é usado como unidade de classificação. (MENESES et al., 2012)

A classificação supervisionada Máxima Verossimilhança (MaxVer) parte do princípio que o usuário conhece bem a temática e a região da imagem a ser classificada para poder definir classes representativas. A distribuição espectral das classes de uso do solo é considerada como sendo gaussiana ou normal, isto é, objetos pertencentes à mesma classe apresentarão resposta espectral próxima à média de valores para aquela classe. Este método parte do princípio que a classificação errada de um pixel não tem mais significado do que a classificação errada de qualquer outro pixel na imagem (Richards, 1993). O método considera a ponderação das distâncias médias, utilizando parâmetros estatísticos de distribuição dos pixels dentro de uma determinada classe. Para a obtenção de um bom resultado com esta classificação é necessária a escolha de um número razoavelmente elevado de pixels para cada amostra de treinamento da classe, e que estes tenham uma distribuição estatística próxima da distribuição normal (Crósta, 1993).

3.4 Métodos:

Foram obtidas imagens do satélite Landsat 5, captadas no mês de junho dos anos 2000 e 2010, e do Landsat 8 no mês de maio do ano de 2015. Adquiriram-se os arquivos vetoriais (formato *shapefile*) de interesse no *site* do IBGE. Selecionaram-se as bandas Vermelho, Infravermelho próximo e Azul das imagens onde foi feito, no *software* Quantum GIS, o recorte da área de interesse baseado no retângulo envolvente dos arquivos vetoriais da região da lagoa com o *buffer* de 1,5 km. Nas tabelas 1 e 2 demonstram as resoluções e a faixa do comprimento de onda compreendido em cada banda dos satélites Landsat 5 e 8, respectivamente.

| Bandas | Landsat5 TM | Comprimento de Onda(μ m) | Resolução Espacial(m) |
|--------|-----------------------|-------------------------------|-----------------------|
| 1 | Visível Azul | 0.45 - 0.52 | 30 |
| 2 | Visível Verde | 0.52-0.60 | 30 |
| 3 | Visível Vermelho | 0.63 - 0.69 | 30 |
| 4 | Infravermelho Próximo | 0.76 - 0.90 | 30 |
| 5 | Infravermelho Próximo | 1.55 - 1.75 | 30 |
| 6 | Infravermelho Termal | 10.40 - 12.50 | 120 |
| 7 | Infravermelho Médio | 2.08 - 2.35 | 30 |

Tabela 1. Bandas espectrais do satélite Landsat5 TM (INPE, 2013)

| Bandas | Landsat8 OLI/TIRS | Comprimento de onda (μ m) | Resolução Espacial(m) |
|--------|-----------------------------|--------------------------------|-----------------------|
| 1 | Visível Ultra-Azul | 0.43 - 0.45m | 30 |
| 2 | Visível Azul | 0.45 - 0.51m | 30 |
| 3 | Visível Verde | 0.53 - 0.59m | 30 |
| 4 | Visível Vermelho | 0.64 - 0.67m | 30 |
| 5 | Infravermelho Próximo | 0.85 - 0.88m | 30 |
| 6 | Infravermelho médio/SWIR 1 | 1.57 - 1.65m | 30 |
| 7 | Infravermelho médio/SWIR 2 | 2.11 - 2.29m | 30 |
| 8 | Pancromática (PAN) | 0.50 - 0.68m | 15 |
| 9 | Cirrus | 1.36 - 1.38m | 30 |
| 10 | Infravermelho Termal/TIRS 1 | 10.6 - 11.19m | 100 |
| 11 | Infravermelho Termal/TIRS 2 | 11.5 - 12.51m | 100 |

Tabela 2. Bandas Espectrais do Satélite Landsat8 OLI/TIRS (USGS, 2014)

Com as imagens cortadas foi realizada a sintetização e realçamento para a classificação. Utilizou-se o *software* Spring 5.2.6, disponibilizado gratuitamente através do acervo do DGI/INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), para processar as imagens do TM/Landsat-5 e Landsat-8 OLI/TIRS mapeadas na região prescrita. A figura 2 mostra as imagens nos anos de 2000, 2010 e 2015.

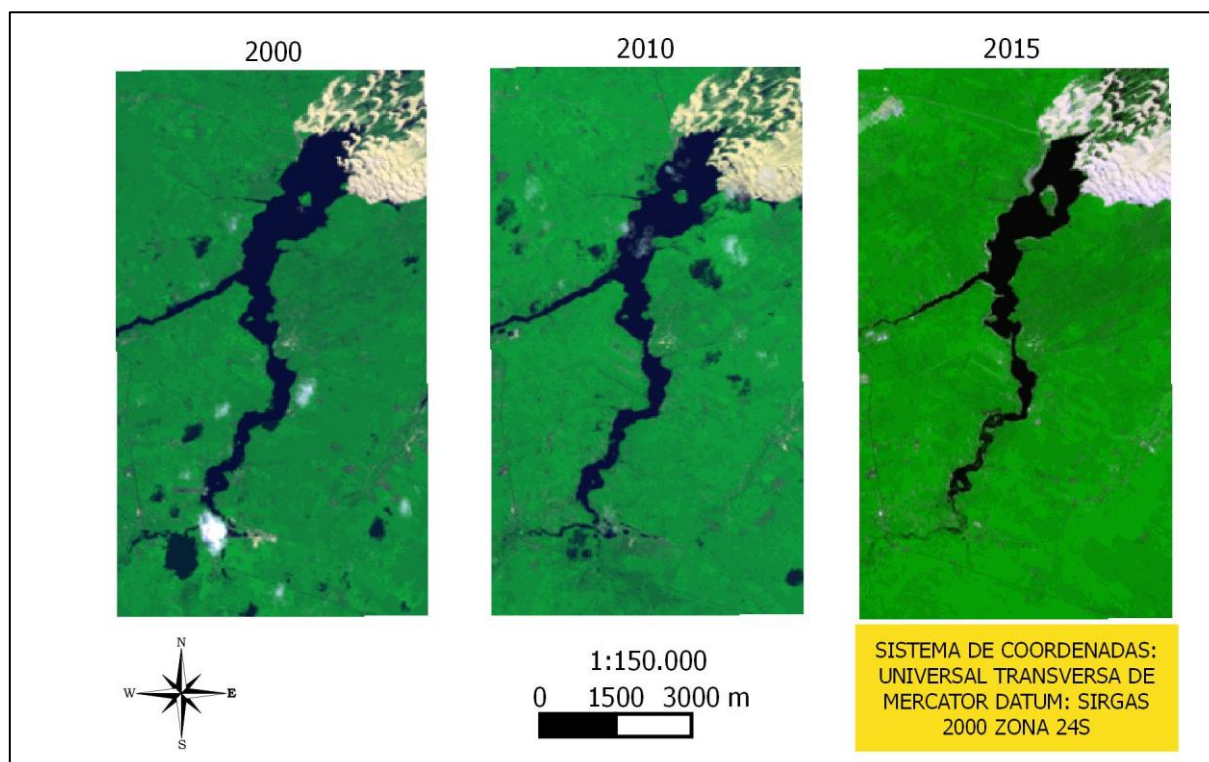


Figura 2. Imagens recortadas, sintetizadas e realçadas respectivamente dos anos 2000, 2010 e 2015. Fonte própria.

Para este estudo, foi utilizada a ferramenta de Classificação Pixel a Pixel Supervisionada Máxima Verossimilhança, com limiar de aceitação de 99% para as classes pré-estabelecidas: Água, Areia e Vegetação. Assim, foi realizada a interpretação das imagens de satélite capturadas em períodos distintos dentro de ambiente SIG, constituindo um banco de dados georreferenciado e multitemporal. Após a classificação, verificaram-se as medidas de cada classe em hectare, logo em seguida os valores foram transformados em porcentagem no *software* Excel para serem analisados.

4. RESULTADOS E DISCURSÕES:

Por meio da figura 3, pode-se perceber que a dinâmica dunar na lagoa do portinho tem variado relativamente pouco quando comparada com o aumento da vegetação, que implica ligeiramente na perda do volume de água. Percebe-se que com o aumento da vegetação, não fica tão evidente a presença do aumento das dunas, porém isso sendo analisado via sensoriamento remoto, sabe-se ainda que para uma melhor interpretação da dinâmica dunar, precisa-se de uma corroboração em campo, uma vez que boa parte das dunas está sendo coberta por vegetação, dificultando a análise via sensoriamento remoto. Observa-se ainda pela a classificação que a área do corpo hídrico (limnológico) está diminuindo quando comparado os anos de 2000 e 2015, observando-se também o aumento da vegetação e do assoreamento na parte interna da lagoa.

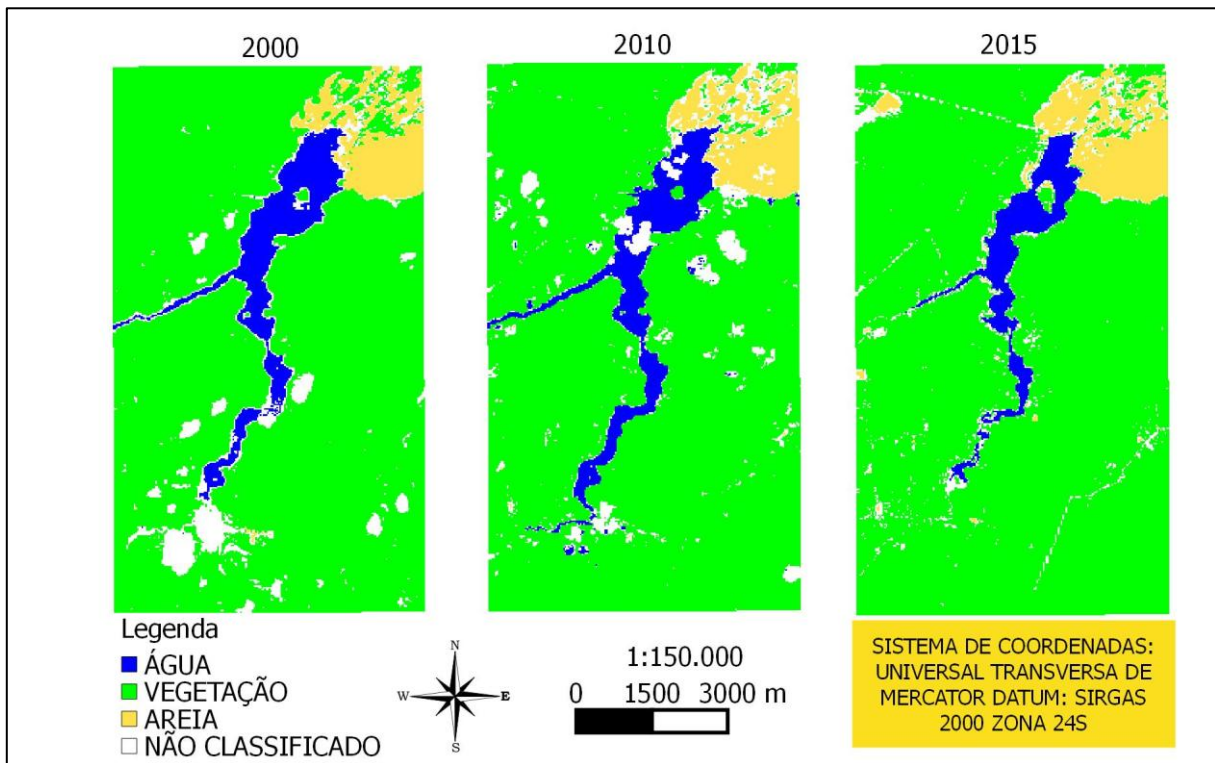


Figura 3. Imagens classificadas respectivamente dos anos de 2000, 2010 e 2015;

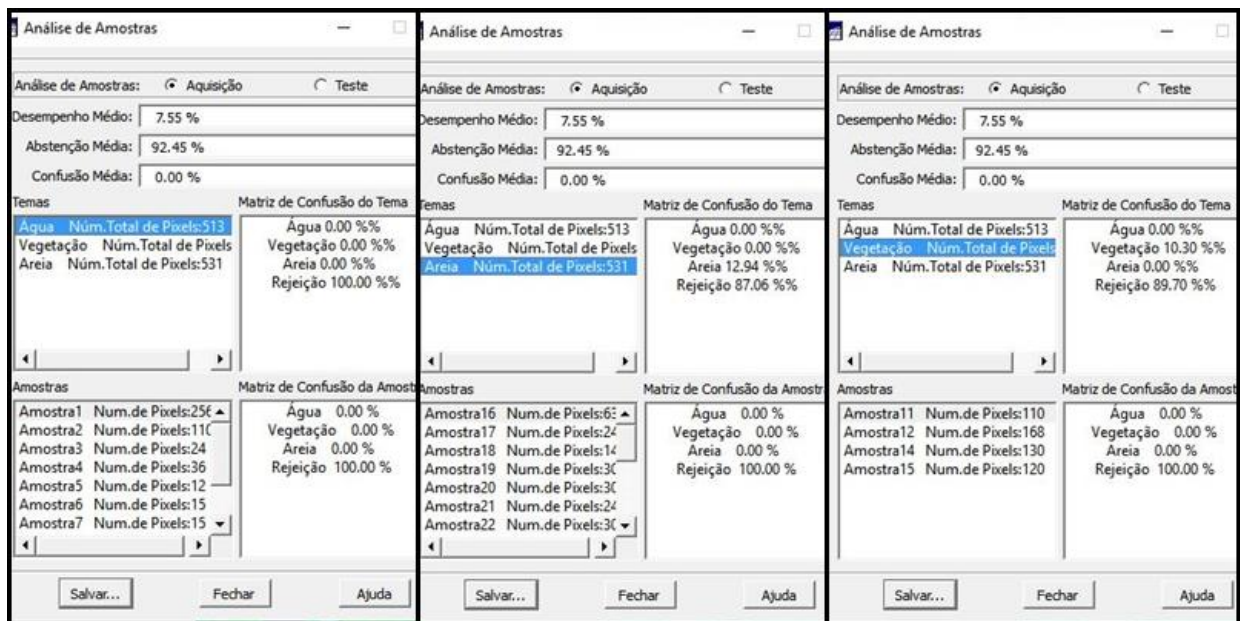


Figura 4. Print da Análise de Amostras (Água, Areia e Vegetação respectivamente esq. para dir.) feita pelo software SPRING da imagem classificada ano 2000;

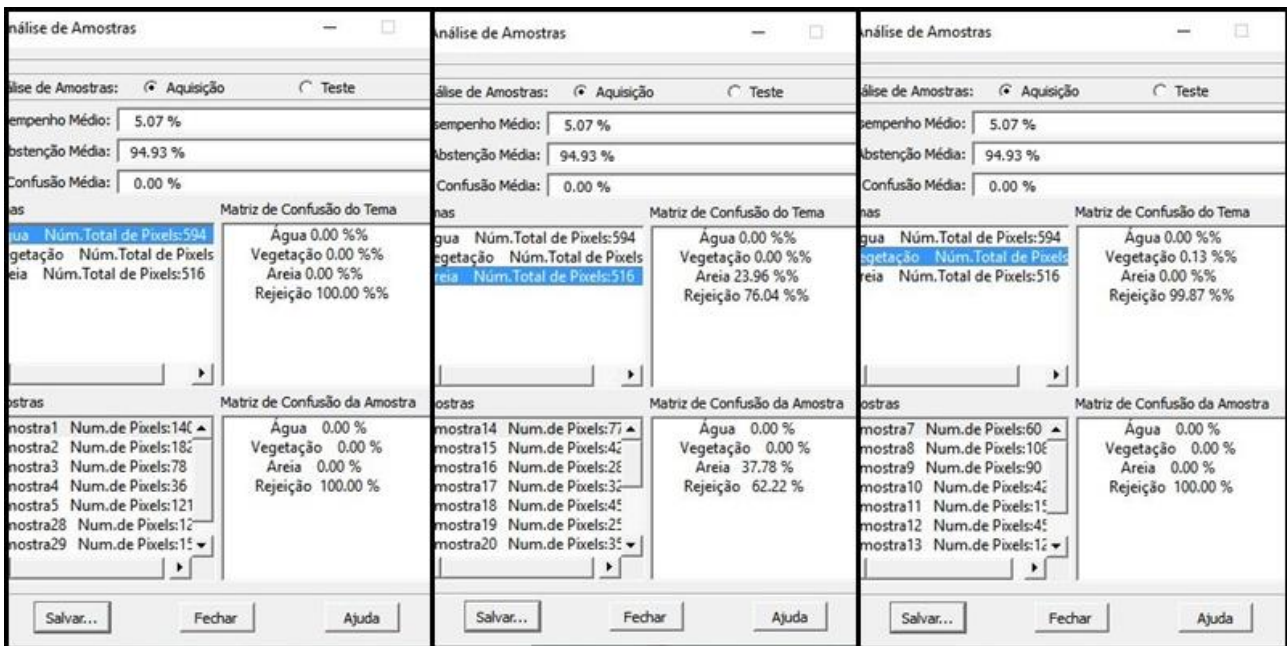


Figura 5. Print da Análise de Amostras (Água, Areia e Vegetação respectivamente esq. para dir.) feita pelo software SPRING da imagem classificada ano 2010;

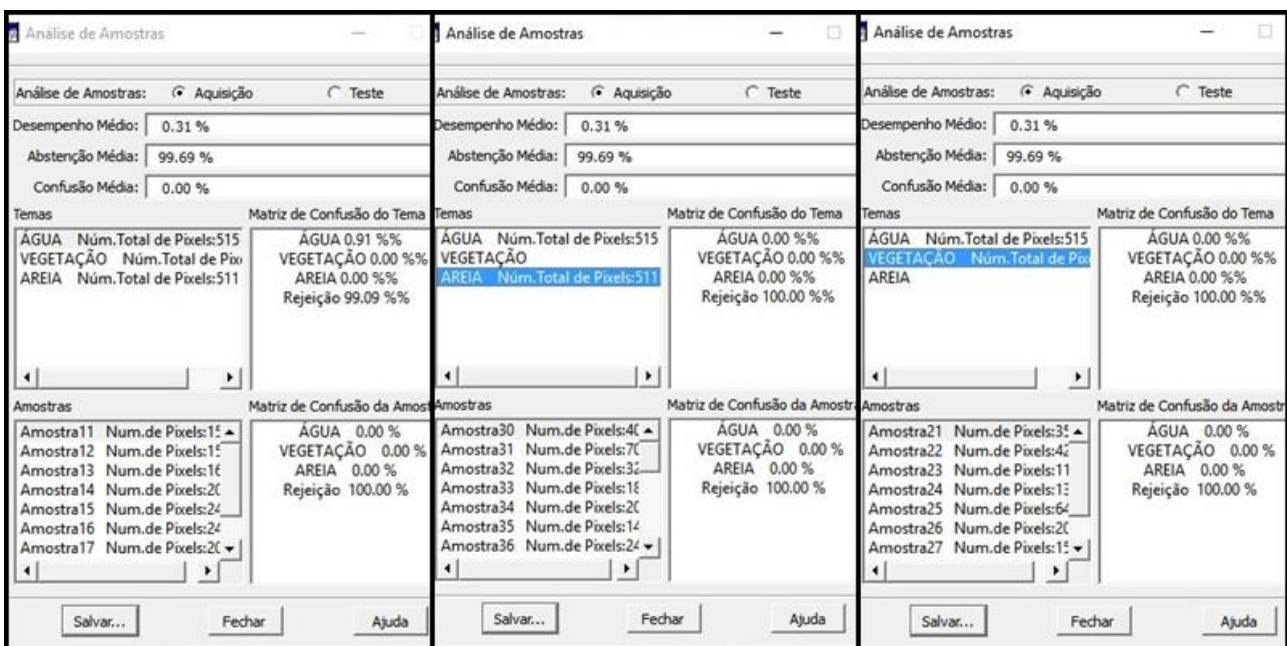


Figura 6. Print da Análise de Amostras (Água, Areia e Vegetação respectivamente esq. para dir.) feita pelo software SPRING da imagem classificada ano 2015;

Com a classificação e a extração das áreas em porcentagem (Figura 4) evidencia-se que realmente houve uma perda do volume hídrico, de forma acentuada quando comparam-se os anos de 2000 a 2015, sendo boa parte compensada na vegetação e outra nas areias.

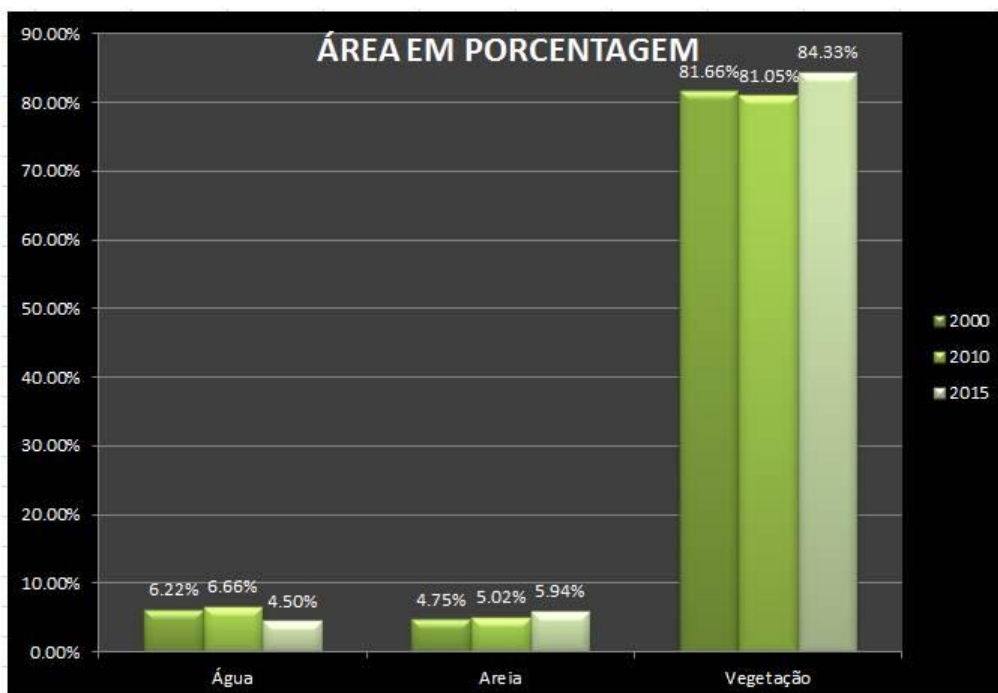


Figura 7. Gráfico da distribuição em classes dos pixels classificados, em porcentagem.

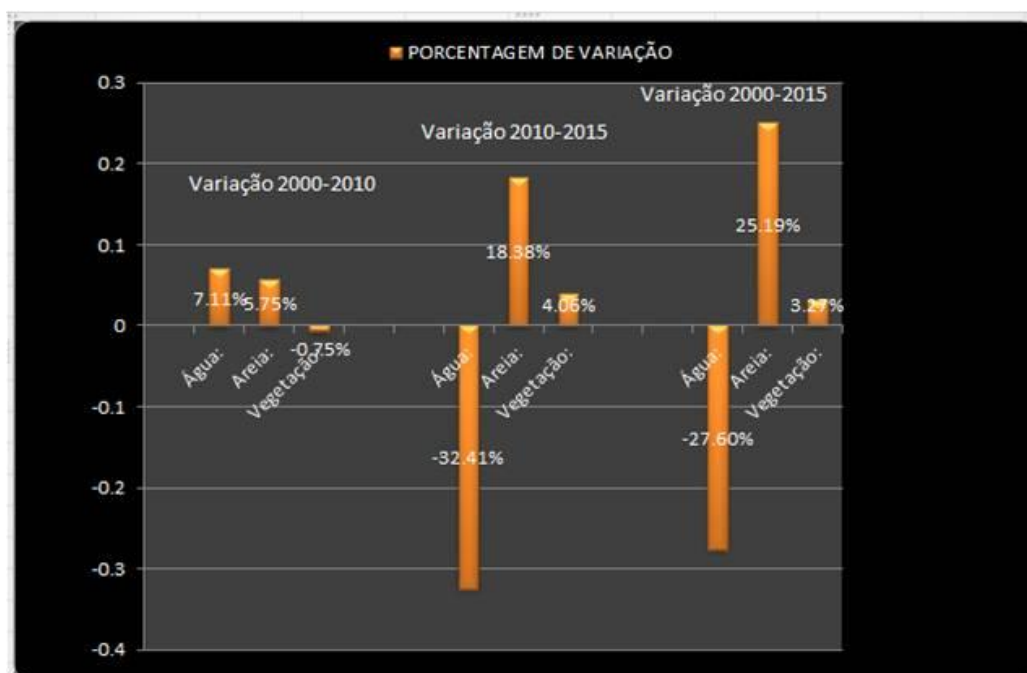


Figura 8. Gráfico da variação temporal da área ocupada por cada classe, em porcentagem.

5. CONCLUSÕES

Por meio desse estudo pode-se concluir que o método de classificação supervisionado é eficaz, pois demonstra bem por meio da extração das áreas classificadas o aumento e/ou diminuição de determinado alvo, sendo que para tal método deve contar com o auxílio do conhecimento da região a ser estudada, bem como a boa interpretação das feições a serem classificadas.

A análise espacial-temporal da dinâmica dunar demonstrou-se complexa uma vez que existem vegetações que se adaptam ao tipo de solo arenoso (caracterizado como duna).

A diminuição do volume hídrico, limnológico, é preocupante, pois percebe-se que com o avanço da vegetação e do aumento da área de dunas tem prejudicado em diversos fatores ambientais, econômicos, sociais, culturais e turísticos.

Conclui-se ainda devem-se ter mais estudos aprofundados a cerca das causas da perda do volume hídrico, bem como do processo de assoreamento e dinâmica dunar da lagoa em questão.

Agradecimentos

Agradecemos a coordenação do curso de Tecnologia em Geoprocessamento – Instituto Federal do Piauí e ao professor Lineardo Ferreira de Sampaio Melo, pelo incentivo e apoio.

Referências Bibliográficas:

CEPRO – Centro De Pesquisas Econômicas e Sociais do Piauí, Fundação. **Diagnóstico dos Municípios**, 2013. Disponível em: < http://www.cepro.pi.gov.br/download/201309/CEPRO27_d1070ca972.pdf>. Acesso em: 03 de maio de 2016.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente (2002). **Resolução nº 303, de 20 de março de 2002**. Ministério do Meio Ambiente, 4p. Disponível em: http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/19371341/PropResolAPP_VLIMPA_12e13ago2010.pdf. Acesso: 29 maio 2015.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Introdução ao processamento digital de imagens**. Rio de Janeiro. 2001. p. 92.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS DO PIAUÍ – SEMAR (2015). **Lagoa de 5 milhões de metros cúbicos seca no litoral do Piauí**. UOL, Maceió, 05 mai. 2015. Disponível em: <http://noticias.uol.com.br/meio-ambiente/ultimas-noticias/redacao/2015/05/05/lagoa-de-5-milhoes-de-metros-cubicos-seca-no-litoral-do-piaui.htm?mobile>. Acesso: 28 maio 2015

LUKE M. C. T. & THOMAS A. S. 2008. **Physical damage to coastal dunes and ecological impacts caused by vehicle tracks associated with beach camping on sandy shores: a case study from Fraser Island, Australia**. Journal Coast Conservation 12:67–82..

SARTOR, S. C. B. **Avaliação Temporal de variáveis limnológicas do reservatório Rodolfo Costa e Silva – RS, e o uso da terra na área de captação**. 2008. 93 p.. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

MACHADO J. S. et al. **Análise da dinâmica dunar da praia de Lagoinha - CE por meio de dados topográficos e aerofotogramétricos**. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 2011, Curitiba, *Anais...* 2011, INPE p.2355. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p0167.pdf>. Acesso: 26 maio 2015.

RODRIGUES, V. **Cadê a lagoa que estava aqui?**. Cidade Verde, Teresina-Piauí, p. 48-58, 25 janeiro 2015.

FERNANDES, LUCYANNO. LIMA, EDUARDO. **Evolução na paisagem costeira do litoral oriental do Rio Grande do Norte: Cartografia digital e análise multitemporal nos campos de dunas móveis**. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. Foz do Iguaçu, 2013. *Anais...* Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p1660.pdf>. Acesso: 25 maio 2015.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. de (Org.). **Introdução ao processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Universidade de Brasília (UNB) – Instituto de Geociências (IG). Brasília, 2012, p. 266. Livro eletrônico disponível em: <http://www.cnpq.br/web/guest/livro-eletronico>.

DOMINGUEZ, J. M. L. **Notas de aula de processos sedimentares e problemas ambientais na zona costeira**. Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia, 2009. Disponível em: <http://www.zonacosteira.bio.ufba.br/dunaseolicas.html>. Acesso: 29 maio 2015.

USGS, U.S. GEOLOGICAL SURVEY. **Types of dunes**. Disponível em: <http://pubs.usgs.gov/gip/deserts/dunes/>. Última modificação: 29 out. 1997. Acesso: 28 maio 2015.

PFALTZGRAFF, P.; TORRES, F.; BRANDÃO, R. (Org.). **Geodiversidade do Estado do Piauí**. Recife, CPRM, Serviço Geológico do Brasil, 2010, p. 260.

CRÓSTA, A. P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**, Campinas, SP, UNICAMP, ed. rev., 1993.