
GEOTECNOLOGIAS APLICADAS A ANÁLISE DA DEGRADAÇÃO AMBIENTAL NA BACIA DO RIO DOS CACHORROS, SÃO LUÍS (MA)

JANILCI SERRA SILVA¹

MARCELINO SILVA FARIAS FILHO²

¹Grupo de Estudos e Pesquisa em Edafologia e Pedologia - GEPEPE

²Universidade Federal do Maranhão - UFMA

²Departamento de Geociências, São Luís, MA

janilciserra@hotmail.com¹, marcelinofarias@ufma.br²

RESUMO - Esta pesquisa, trata do uso das geotecnologias, aplicadas a análise da degradação ambiental, na bacia do rio dos Cachorros, localizada no município de São Luís (MA). Para isso, utilizou-se produtos de sensoriamento remoto, e técnicas de geoprocessamento. Foram utilizadas duas imagens do satélite Landsat 5 sensor TM, nas datas 02/08/1988 e 04/02/2010. O processamento para extração de informações temáticas a partir de dados de satélite, foi realizado em ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas), o software utilizado foi o SPRING 5.2.7. Foi realizada a classificação do uso e cobertura da terra e estimativa do IVDN (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada). Os resultados mostraram que a bacia do rio dos Cachorros possui interferência antrópicas, e que houve modificações significativas entre os dois períodos estudados, especialmente em relação a classe de vegetação arbórea/arbustiva, os resultados revelaram que houve redução dessa classe. Notou-se ainda que houve expansão da área urbana, e a classe de solo exposto praticamente dobrou no interstício estudado, revelando a intensificação da degradação ambiental na área de estudo. Por fim, conclui-se que a utilização das geotecnologias, mais especificamente o uso do sensoriamento remoto, são ferramentas importantes nas análises da degradação ambiental.

ABSTRACT - This research deals with the use of geotechnology, applied to analysis of environmental degradation in the river basin of Cachorros, located in the municipality of São Luís (MA). To this end, we used remote sensing products and techniques of geoprocessing. We used two images Landsat 5 TM sensor, the dates 08/02/1988 and 04/02/2010. The processing for thematic information extraction from satellite data, was ambient realized in GIS (Geographic Information System), the software used was the SPRING 5.2.7. It performed the classification of land use and land cover and estimate of NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Results showed that the river basin from the Cachorros have anthropogenic interference, and that there were significant changes between the two periods studied, especially in relation to vegetation class arboreal/shrubby, the results revealed that there was a reduction of this class. It was also noted that there was an expansion of the urban area, and the exposed soil class almost doubled in interstitial studied, revealing the intensification of environmental degradation in the study area. Finally, it concluded that the use of the use of geotechnology, more specifically the use of remote sensing, are important tools in the analysis of environmental degradation.

1 INTRODUÇÃO

O espaço urbano das cidades é constantemente modificado. A ocupação urbana desordenada e a supressão da cobertura vegetal, por exemplo, são ações antrópicas que contribuem significativamente na mudança espacial de uma região, podendo gerar intensos processos de degradação no ambiente natural. Nogueira de Souza (2003), aponta que a degradação ambiental está relacionada a fatores de uso e cobertura da terra, uma vez que as formas inadequadas de ocupação e manejo, ocasionam intenso impacto ambiental.

Desta forma, estudos relacionados à análise da degradação ambiental, são de grande importância para o entendimento de aspectos da relação sociedade-natureza. Considera-se que tal análise constitui-se num instrumento, de subsídios para políticas de planejamento urbano, que tenham como proposta, a busca pela melhora na qualidade de vida e a sustentabilidade ambiental, por exemplo. (LIMA; RONGAGLIO, 2001)

As geotecnologias, consistem em um suporte tecnológico, fundamental no monitoramento da dinâmica de uso e cobertura das terras, e análise da degradação ambiental, principalmente, pelo fato de propiciar maior frequência na atualização de dados, e pela agilidade no processamento e viabilidade econômica (Souza, 2009). Conforme salienta Fitz (2008), as geotecnologias podem ser entendidas como as novas tecnologias ligadas à área das geociências, as quais têm contribuído para avanços significativos no desenvolvimento de pesquisas ambientais e apoio a ações de planejamento e gestão das cidades. Salienta-se que as principais geotecnologias utilizadas nas pesquisas ambientais, são o sensoriamento remoto e os Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

Lima; Freitas Filho (2015) afirmam que é "imprescindível a utilização das técnicas de sensoriamento remoto em trabalhos ambientais, principalmente quando a temática é degradação ambiental, isso porque com a utilização dessas técnicas é possível realizar uma abordagem espaço-temporal da área de estudo". Lima; Freitas Filho (2015) afirmam que é "imprescindível a utilização das técnicas de sensoriamento remoto em trabalhos ambientais, principalmente quando a temática é degradação ambiental, isso porque com a utilização dessas técnicas é possível realizar uma abordagem espaço-temporal da área de estudo". Nesse sentido, a classificação e quantificação do uso e cobertura da terra e os índices de vegetação, a partir de imagens de satélite, têm sido amplamente utilizados. Os índices de vegetação mais comumente utilizados são o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN), Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (IVAS) e Índice de Área Foliar (IAF). Neste estudo, destaca-se o uso do IVDN.

A metodologia utilizada nesta pesquisa compreendeu o levantamento do referencial teórico acerca da temática analisada. Além disso, foram elaborados produtos cartográficos, obtidos a partir de imagens do satélite Landsat 5 sensor TM, processadas em ambiente SIG, por meio de técnicas de sensoriamento remoto. Para tanto, foram utilizadas imagens do satélite Landsat 5 sensor TM, dos anos de 1988 e 2010.

Sendo assim, e tomando como área de estudo da bacia do rio dos Cachorros, esta pesquisa teve como objetivo avaliar, numa escala temporal e com o apoio das geotecnologias, a degradação ambiental ocorrida devido a alteração do uso da terra na área em questão, a partir da classificação do uso e cobertura da terra e estimativa do IVDN.

1.1 Localização da área de estudo

A bacia do rio dos Cachorros está localizada na zona rural do município de São Luís, porção sudoeste da Ilha do Maranhão, estando situada entre as coordenadas $2^{\circ}39'52,16''$ O e $44^{\circ}21'21''$ S e $2^{\circ}38'45''$ O e $44^{\circ}16'03''$ S" (Figura 1). De acordo com a Agência Nacional das Águas, a bacia está inserida na Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Ocidental (ANA, 2005) e possui uma área de aproximadamente 43,5 km².

A área é caracterizada por intensas atividades industriais e extração de minerais (laterita e areia), sendo estas atividades as principais causas da degradação ambiental e transformações da paisagem local. Conforme Castro e Santos (2012, p. 4) as modificações do uso e ocupação da terra na bacia do rio dos Cachorros ocorreram de forma gradual e intensa nas três últimas décadas. De acordo com os autores supracitados "em meados dos anos 80 a região da bacia era predominantemente rural, com uma grande área verde e extenso manguezal. Atualmente os espaços ocupados por inúmeras empresas e indústrias tem se tornado maior na região da bacia e está em plena expansão."

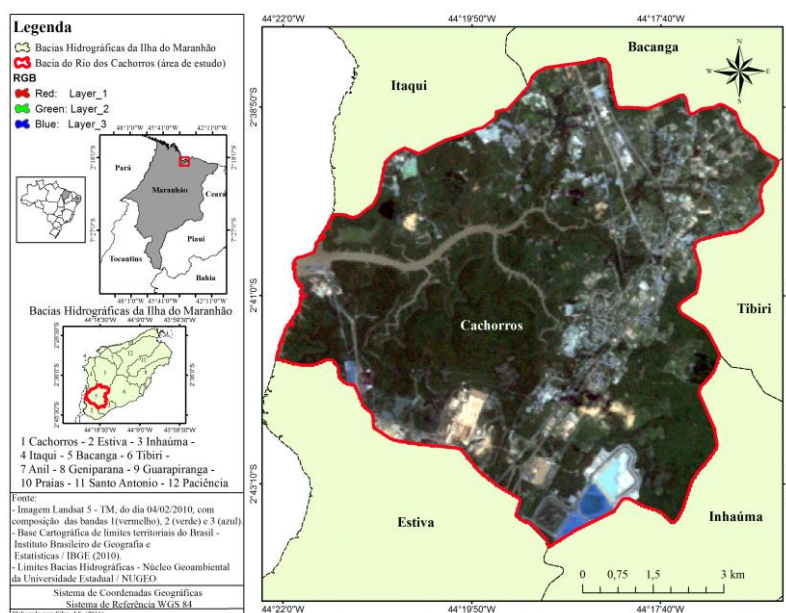


Figura 1: Localização da bacia do Rio dos Cachorros na Ilha do Maranhão.

Fonte: Elaborado pelos autores.

2. METODOLOGIA DO TRABALHO

Para a análise da degradação ambiental, na bacia do Rio dos Cachorros, foram utilizadas duas imagens do satélite LANDSAT-5 sensor TM, nas seguintes datas, 02 de agosto de 1988 e 04 de fevereiro de 2010. As imagens de satélite são disponibilizadas gratuitamente pelo *United States Geological Survey* (USGS), no endereço eletrônico <http://glovis.usgs.gov>. Essas imagens foram escolhidas devido a pouca presença de nuvem, fator esse que não comprometeria os resultados do mapeamento do uso e cobertura da terra.

Quatro classes de uso e cobertura da terra foram estabelecidas, a saber: água, urbano, solo exposto, vegetação arbórea/arbustiva e mangue. A classificação do uso e cobertura da terra foi realizada em ambiente SIG (Sistema de informações Geográficas), e o software utilizado foi o SPRING 5.2.7. O método de classificação realizado foi o supervisionado, e o classificador foi o MAXVER (máxima verossimilhança), com liminar de aceitação de 100%. A classificação supervisionada permite a seleção de amostras representativas pertencente a cada classe que se quer identificar na imagem. Em seguida, procedeu-se a etapa de pós-classificação, para eliminar possíveis erros da classificação. Desta forma, obteve-se os mapas de uso e cobertura da terra de 1988 e 2010, e posteriormente, foi feito o cálculo de áreas das classes de uso e cobertura da terra, para as datas analisadas.

Anterior a etapa de estimativa do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN), desenvolveu-se as etapas de calibração radiométrica e cálculo das refletâncias espectrais. A Figura 2, apresenta o fluxograma com as etapas desenvolvidas nesta pesquisa.

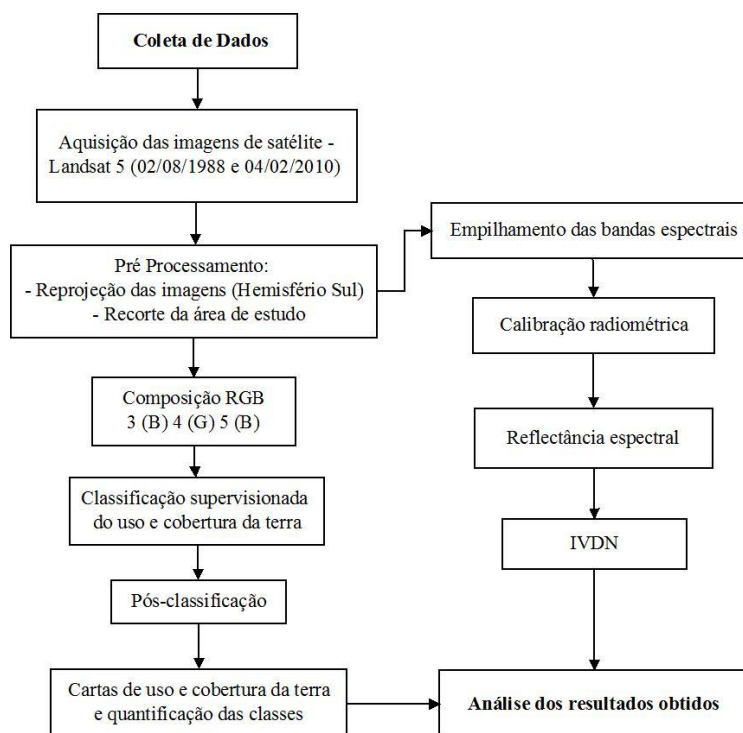


Figura 2 - Fluxograma das etapas metodológicas desenvolvidas na pesquisa.

Fonte - Elaborado pelos autores.

A calibração radiométrica, consiste em um processo, em que o número digital de cada imagem (ND) é transformado em radiância espectral de cada banda (L_{λ_i}). Para converter os números digitais (ND) de cada pixel em radiância espectral se usa os coeficientes de calibração para as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 do satélite Landsat 5. Os valores de radiância, para cada banda, foram obtidos pela equação 1, proposta por Markham e Baker (1987).

$$L_{\lambda_i} = a_i + \frac{b_i - a_i}{255} ND \quad (1)$$

onde: L_{λ_i} = radiância espectral monocromática em Watts ($Wm^2/sr/\mu m$); a e b = coeficientes de calibração representando as radiâncias espectrais mínima e máxima; ND = intensidade do pixel (valor inteiro entre 0 e 255); i = corresponde as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 do satélite Landsat 5. Foram utilizados os coeficientes de calibração a e b propostos por Chander et al. (2007).

A reflectância espectral planetária no topo da atmosfera é a razão entre o fluxo da radiação refletido e o fluxo de radiação incidente, para cálculo da reflectância foi utilizado a equação proposta por Bastiaanssen (1995).

$$\rho_{\lambda_i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda_i}}{ESUN_{\lambda} \cdot \cos Z \cdot d_r^2} \quad (2)$$

onde: L_{λ_i} = radiância espectral de cada banda; $ESUN_{\lambda}$ = irradiância solar espectral no topo da atmosfera; $\cos Z$ = cosseno do ângulo de incidência da radiação solar; d_r = inverso do quadrado da distância relativa entre Terra-Sol. A d_r foi calculada de acordo com Iqbal (1983). Foram utilizados os valores do $ESUN_{\lambda}$, de acordo com Chander et al. (2007). O $\cos Z$ foi obtido a partir de dados disponíveis nos ficheiros de metadados das imagens de satélite.

Após a realização da calibração radiométrica e da reflectância, seguiu-se com o cálculo do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN). O IVDN é a razão entre a diferença das refletividades da banda do infravermelho próximo e no vermelho, pela soma dessas mesmas refletividades (ROUSE et al., 1973). Os valores do IVDN variam no intervalo de -1 a 1, quanto mais próximo de 1, maior indício de presença de vegetação, e quanto mais próximo de -1, maior indício de presença de solos descobertos e rochas, é definido pela seguinte equação.

$$IVDN = (NIR - R) / (NIR + R) \quad (3)$$

onde: NIR = é a banda espectral no infravermelho próximo e R = é a banda espectral do vermelho.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise da classificação do uso e cobertura da terra

As Figuras 3 e 4, mostram o resultado da classificação do uso e cobertura da terra, na bacia do rio dos Cachorros, para as cenas de 1988 e 2010. Com base na classificação das imagens de satélite, foram mapeados cinco classes do uso da terra: (a) água, (b) urbano, (c) solo exposto, (d) vegetação arbórea/arbustiva e (e) mangue. Foi observado que na classificação de 02 de agosto de 1988, mostrada na Figura 3, houve uma grande representatividade da classe de vegetação arbórea/arbustiva. A classe urbano e solo exposto foram representadas por pequenos polígonos na área de estudo, porém, na porção norte da bacia do rio dos Cachorros, é possível identificar maior presença dessa classe.

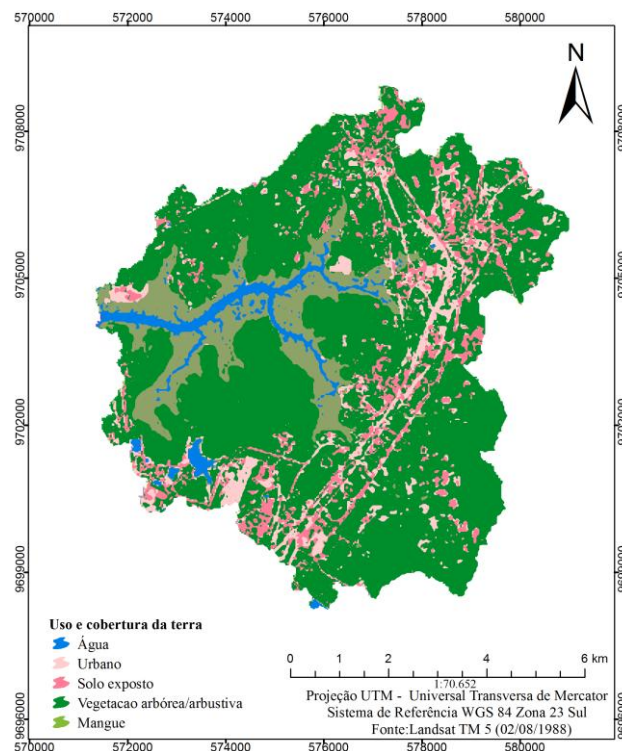


Figura 3 - Uso e cobertura terra na bacia do rio dos Cachorros no ano de 1988.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Na análise da Figura 4, referente a classificação da imagem de satélite na data de 04 de fevereiro de 2010, nota-se que houve significativa modificação da cobertura da terra na área de estudo, em relação a classificação de 1988. O aumento da classe urbano e solo exposto resultou na redução da classe relativa à vegetação arbustiva/arbórea. A área urbana, corresponde na maioria das vezes, a loteamentos implantados em áreas inadequadas e de forma não planejada, e o crescimento da área de solo exposto é resultado do desenvolvimento de atividades de mineração, para retirada de areia e laterita. Como se observa, trata-se de uma bacia hidrográfica bastante antropizada, e as alterações da cobertura da terra na bacia do rio dos Cachorro, podem indicar intensa degradação ambiental.

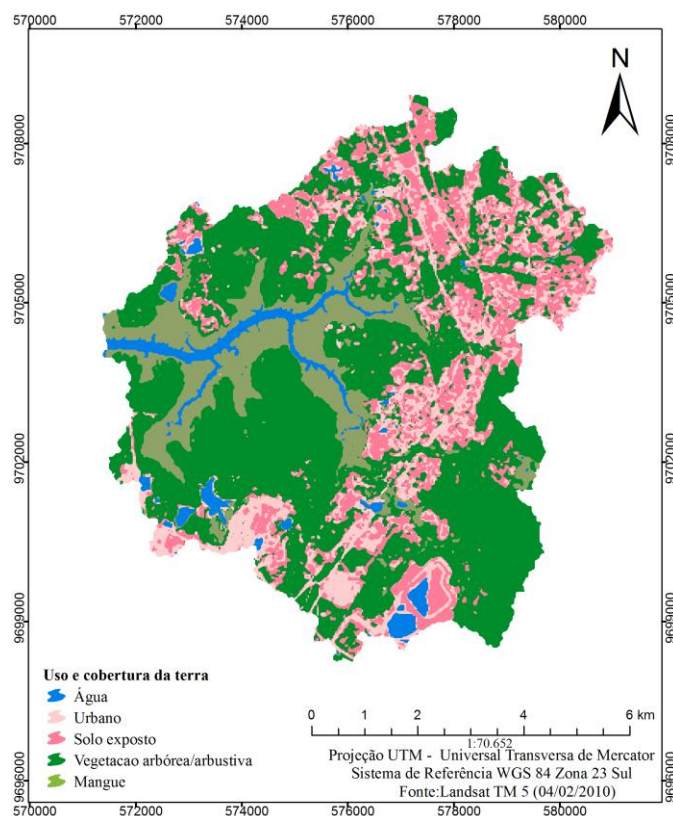


Figura 4 - Uso e cobertura terra na bacia do rio dos Cachorros no ano de 2010.

Fonte: Elaborado pelos autores.

O processo de classificação do uso e cobertura da terra resultou na quantificação de valores associados às classes analisadas. A Tabela 1, mostra que a classe de vegetação arbórea/arbustiva existente no ano de 1988 era de 66,39% (42,05Km²), e para o ano de 2010 houve um decréscimo estimado para um valor de 53,45 (33,86Km²). Em contrapartida a classe de urbano cresceu, no ano de 1988 ocupava um total de 9,46% (5,99km²) e no ano de 2010 passou a ocupar 13,57% (8,59km²). Como pode ser percebido, a maior alteração ocorreu na classe de solo exposto, no ano de 1988 ocupava um total de 9,63% (6,09km²) e no ano de 2010 passou a ocupar 19,18% (12,14km²), dobrando sua extensão. Percebe-se que a classe de água teve maior representatividade no ano de 2010, isto pode estar relacionado com a data da imagem, pois a imagem de 2010 pertence a um período do ano onde há maiores índices de precipitação. Nota-se também que houve diminuição da área ocupada pela classe de mangue.

Tabela 1 - Quantificação das classes de uso e cobertura da terra no ano de 1988 e 2010.

Classes	1988		2010	
	Área(km ²)	Área (%)	Área(km ²)	Área (%)
Água	2,21	3,49	2,53	4,01
Urbano	5,99	9,46	8,59	13,57
Solo exposto	6,09	9,63	12,14	19,18
Vegetação arbórea/arbustiva	42,05	66,39	33,86	53,45
Mangue	6,98	11,03	6,2	9,8

Também foi confeccionado um gráfico, que apresenta de forma mais clara, a quantificação de cada classe mapeada do uso e cobertura da terra, facilitando com isso as análises e a identificação das classes predominantes (Figura 1).

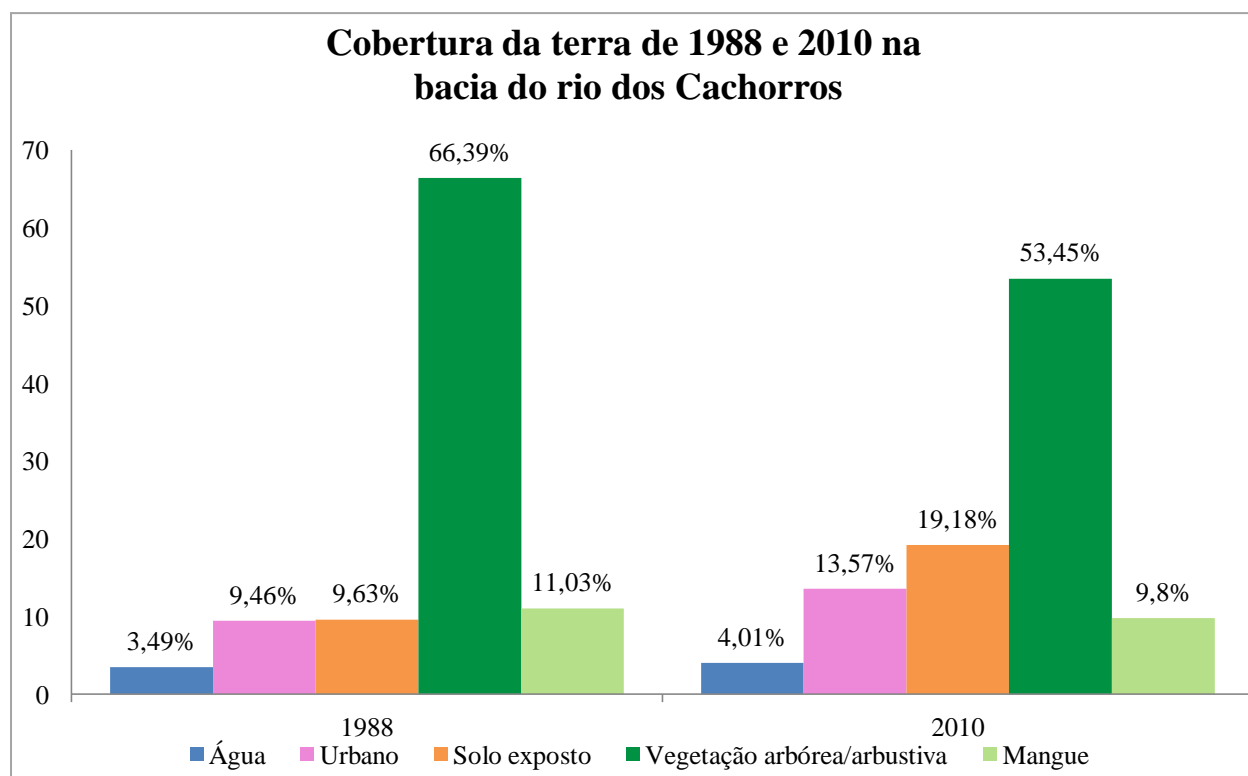


Figura 5 - Gráfico do percentual de cobertura da terra nas datas analisadas.

Fonte: Elaborado pelos autores.

3.2 Análise do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN)

Como falado anteriormente, o IVDN é um índice importante na determinação da biomassa de uma determinada área, este índice permite a estimativa da cobertura superficial da vegetação verde e é muito utilizado no monitoramento de áreas degradadas. O IVDN pode indicar onde a vegetação se encontra mais saudável e desenvolvida.

As Figuras 6 e 7, apresentam o IVDN na bacia do rio dos Cachorros, para as datas de passagens de satélite em 02 de agosto de 1988 e 04 de fevereiro de 2010. As imagens do IVDN permitiram identificar vegetação densa (vegetação arbustiva/arbórea), área urbana, solo exposto, mangue, além da água. Como esperado, os maiores valores do IVDN foram representados pela vegetação densa e os menores valores representam áreas sem cobertura vegetal. Os valores do IVDN foram estimados em cinco classes, com intervalos de -0,3 a 0,8, inseridos dentro dos limites de intervalos do IVDN.

Em primeira análise, é possível observar, que houve ao longo do interstício estudado, mudanças significativas na paisagem da bacia do rio dos Cachorros. Estas mudanças são caracterizadas pela diminuição gradual da cobertura vegetal e também pelo aumento de áreas edificadas e outros tipos de uso da terra.

A Figura 6, apresenta o IVDN da data de 1988, os tons de verde indicam áreas cobertas de vegetação, sendo que as zonas em verde escuro representam regiões com vegetação de maior vigor (vegetação arbórea/arbustiva). Nota-se que houve uma grande representatividade da categoria de vegetação arbórea/arbustiva.

A Figura 7, apresenta o IVDN da data de 2010, é possível perceber que a área com os maiores valores do IVDN diminuíram, em relação a espacialização do IVDN de 1988. Contudo, em ambas as cenas é possível perceber a predominância dos maiores valores do IVDN. Na cena de 2010, houve crescimento da área com os menores valores do IVDN, isto demonstra o crescimento da área urbanizada e com solo exposto na bacia do rio dos Cachorros, fator esse que contribuiu para a intensificação do processo de degradação ambiental na área de estudo. Este resultado, corrobora com as classificações do uso e cobertura da terra, mostradas nas Figuras 3 e 4, onde também foi evidenciado o crescimento da área urbana e solo exposto, e diminuição da cobertura vegetal, entre as datas analisadas.

A Tabela 2 apresenta a estatística descritiva do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada das imagens de 1988 e 2010, são apresentados os valores mínimos, máximos, média, moda e desvio padrão.

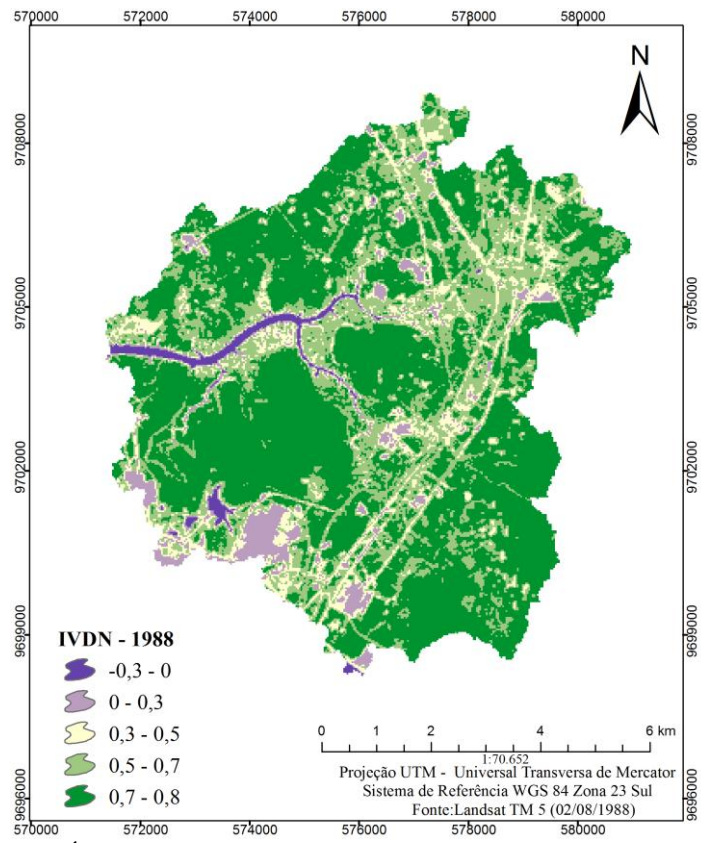


Figura 6 - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada no ano de 1988.
Fonte: Elaborado pelos autores.

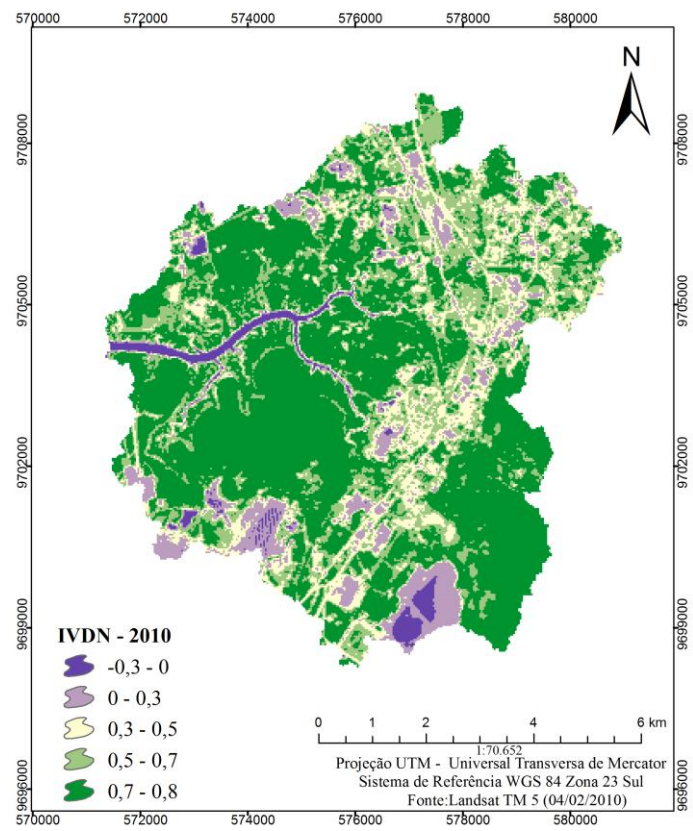


Figura 7 - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada no ano de 2010.
Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 2 - Estatísticas do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada das imagens de 1988 e 2010.

Anos	Estatísticas	IVDN
02/08/1988	Mínimo	-0,4
	Máximo	0,8
	Média	0,6
	Moda	0,7
	Desvio padrão	0,1
04/02/2010	Mínimo	-0,3
	Máximo	0,7
	Média	0,4
	Moda	0,6
	Desvio padrão	0,1

4 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nesta pesquisa permitem inferir que a expansão urbana, somada ao desenvolvimento de atividades de mineração, são os fatores responsáveis pela redução da cobertura vegetal na bacia do rio dos Cachorros. É possível afirmar também que esses fatores, tornaram a paisagem da bacia do rio dos Cachorros bastante fragmentada, e intensamente degradada.

A classificação do uso e cobertura da terra revelou que entre os anos de 1988 e 2010, a área urbana da bacia do rio dos Cachorros teve crescimento de 2,6 km², e a classe de solo exposto cresceu 6,05 km², em contrapartida, as classes de vegetação arbórea/arbustiva e mangue tiveram redução, de 8,19 km² e 0,78 km², respectivamente.

A análise da estimativa do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN), reafirmou que tem ocorrido um processo gradativo de alteração do uso e cobertura da terra na área de estudo. Como pode ser percebido, houve crescimento da classe com os menores valores do IVDN. O IVDN apresentou resultados satisfatórios na identificação de áreas degradadas, confirmando sua aplicabilidade como ferramenta no monitoramento do uso e cobertura da terra. Porém, percebeu-se que em alguns pontos da área de estudo, houve homogeneização dos valores do IVDN.

Por fim, pode-se concluir que o uso das geotecnologias empregadas, possibilitou obter diversas informações do uso e cobertura da terra e análise da degradação ambiental, com um bom nível de precisão, e se constitui em uma ferramenta necessária na aplicação de políticas públicas de gestão do espaço urbano.

REFERÊNCIAS

BASTIAANSEN, W. G. M. **Regionalization of Surface Flux Densities and Moisture Indicators in Composite Terrain. A remote sensing approach under clear skies in Mediterranean Climates**. Ph.D. Thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen, Netherlands. 1995.

CASTRO, T. C. S.; DOS SANTOS, F. R. B. Diagnostico ambiental da atividade de extração mineral classe 2 na bacia hidrográfica do rio dos cachorros, São Luís-MA, Brasil. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, v. 6, n. 1, p. 67-76, 2013.

CHANDER, G.; MARKHAM, B.; BARSİ, J.A. Revised Landsat-5 Thematic Mapper Radiometric Calibration. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, v.4, n.3, p.490-494, 2007.

FITZ, Paulo Roberto. **Geoprocessamento sem complicação**. Rio de Janeiro: Oficina de Textos, p.1-160, 2008

HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index. *Remote Sensing of Environment*, Elsevier Science Publishing Co., New York, USA. v. 25, p. 295-309, 1988.

IQBAL, M. An Introduction to Solar Radiation. **Academic Press**, New York, p. 223, 1983.

LIMA, D. B.; Freitas Filho, M. R. Análise do Índice de Vegetação como Subsídio ao Estudo de Degradação Ambiental: O Caso da Serra da Meruoca-Ceará. **Geografia (Londrina)** v. 24, n. 1. p.91 -105, 2015

LIMA, M. D. V.; RONCAGLIO, C. Degradação socioambiental urbana, políticas públicas e cidadania. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba, n. 3, p. 53-63, 2001.

NOGUEIRA DE SOUZA, G. B. **Degradação ambiental e ocupação do solo na várzea do rio Ouricuri, Capanema (PA)** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 2003, Rio de Janeiro. Anais eletrônicos... Disponível em: <www.cibergeo.br> Acesso em: 20 de fevereiro de 2016.

ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. **Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS**. NASA SP-351 I, 1973, pg. 309–317.

SOUZA, M. J. N. **Diagnóstico geoambiental do Município de Fortaleza: subsídios ao macrozoneamento ambiental e à revisão do Plano Diretor Participativo**- Fortaleza: Prefeitura Municipal de Fortaleza, 2009.

USGS - United States Geological Service. **Earth Explorer - Collection - Landsat Archive**. Disponível em <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em 25 de setembro de 2015