

**ÍNDICE DA VEGETAÇÃO DA DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI) NA SUB-BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO GURGUÉIA, PIAUÍ-BRASIL: ANÁLISE DO EFEITO DA EXPANSÃO
AGRÍCOLA**

**STANDARDIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX (NDVI) IN THE GURGUÉIA RIVER
HYDROGRAPHIC SUB-BASIN, PIAUÍ-BRAZIL: ANALYSIS OF THE EFFECT OF AGRICULTURAL
EXPANSION EM INGLES**

Liviana Norberta Oliveira¹

Cláudia Maria Sabóia Aquino²

RESUMO

Este estudo objetiva examinar o NDVI na sub-bacia hidrográfica do rio Gurgueia-Piauí, que faz parte da atual fronteira agrícola brasileira denominada MATOPIBA, a fim de detectar as áreas de degradação e regeneração da vegetação entre os anos de 1987 e 2017. A análise foi aplicada com base na hipótese de que os vetores de tendência residuais do NDVI resultantes, permitiriam a detecção de alterações na vegetação fotossinteticamente ativa. Realizou-se análise de regressão, e foi gerado um mapa de tendências significativas para os anos de 1987 e 2017 utilizando o software ArcGIS 10.2. Verificou-se que as áreas que mostram tendências negativas, coincidiram principalmente com as de mudança de classe de cobertura da terra, indicando uma redução da vegetação e aumento da área de solo exposto respectivamente. Essas descobertas, demonstram que a análise do NDVI é adequada para detectar áreas de mudança de vegetação e identificar a degradação e/ou regeneração da terra, sendo relevante sua utilização na gestão ambiental como forma de alcançar a sustentabilidade e manutenção do ambiente.

Palavras-chave: MATOPIBA; Desmatamento; Bacia hidrográfica; Gestão ambiental.

ABSTRACT

This study aims to examine the NDVI in the hydrographic sub-basin of the Gurgueia-Piauí River, which is part of the current Brazilian agricultural frontier called MATOPIBA, in order to detect areas of vegetation degradation and regeneration between the years 1987 and 2017. The analysis was applied based on the hypothesis that the resulting NDVI residual trend vectors would allow the detection of changes in photosynthetically active vegetation. Regression analysis was performed, and a map of significant trends was generated for the years 1987 and 2017 using the ArcGIS 10.2 software. It was found that the areas showing negative trends, mainly coincided with those of changing land cover class, indicating a

¹Pós doutora em Geografia pela Universidade Federal do Piauí (UFPI) livaniageo@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2558-2855>

²Professora Adjunta da Universidade Federal do Piauí (UFPI) cmsaboia@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3350-7452>

reduction in vegetation and an increase in the area of exposed soil respectively. These discoveries demonstrate that the NDVI analysis is adequate to detect areas of vegetation change and to identify land degradation and / or regeneration, being relevant its use in environmental management as a way to achieve sustainability and maintenance of the environment.

Keywords: MATOPIBA; Deforestation; Hydrographic basin; Environmental management.

INTRODUÇÃO

A apropriação dos recursos naturais pelo ser humano devido à celeridade da produção econômica em tornar qualquer área explorável e desconsiderando os limites físico-naturais, pode desencadear em graves processos de degradação ambiental, dificultando muitas vezes a capacidade de manter as suas características originais a médio e longo prazo (Oliveira, Aquino, 2019).

As intervenções humanas em bacias hidrográficas são as grandes causadoras de danos aos recursos naturais, os quais podem agravar ou reduzir os impactos ambientais existentes. Desta forma, a bacia hidrográfica tem sido cada vez mais utilizada como unidade de gestão na área de planejamento ambiental, como estabelecido pela Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), numa perspectiva da conservação dos recursos naturais. Isto favorece uma abrangência além dos seus aspectos hidrológicos, envolvendo o conhecimento da estrutura biofísica e das mudanças no padrão de uso da terra e suas implicações ambientais, tendo em vista que o processo de uso e manejo dos recursos naturais numa bacia hidrográfica tem ocorrido muitas vezes desrespeitando as características físico-naturais e comprometendo o sistema ambiental existente (Nucci, 2001; Godoy, Cruz, 2016).

A partir dessas proposições, destaca-se a importância do uso apropriado da terra em bacias hidrográficas, de forma a atender às características físico-naturais do ambiente, com o propósito de minimizar os impactos e possibilitar o manejo sustentável do ambiente. Neste aspecto, a vegetação, por auxiliar na preservação do ambiente e proteger as margens dos rios, tem função relevante na sustentabilidade do ambiente numa bacia hidrográfica, pois

sua retirada de forma inadequada provoca impactos negativos no solo, nos recursos hídricos e, conseqüentemente, na população (Oliveira, Aquino, 2019).

Tem-se observado nas últimas décadas, que o desenvolvimento das técnicas agrícolas e das formas de uso da terra tem crescido. Contudo, na mesma proporção, não houve avanços na preservação dos recursos naturais. Dessa forma, a prática do planejamento preventivo é importante pelo fato de mitigar os impactos sobre os sistemas ambientais e socioeconômicos existentes numa bacia hidrográfica.

Entre as técnicas voltadas para a gestão de bacia hidrográfica, o Sistema de Informações Geográficas (SIG) e a análise de imagens orbitais têm auxiliado nas determinações das medidas de manejo ambiental. O uso dos SIG permite sobrepor diversas informações espaciais, permitindo a correlação e comparação entre as informações como tipo de solo, uso da terra, hidrologia, vegetação, etc., bem como oferece a oportunidade de executar modelagem para prever padrões espaciais de processos ecológicos, com relação a possíveis cenários de ocupação e uso dos recursos, auxiliando os tomadores de decisões na definição de diretrizes a respeito do uso da terra.

Conforme Oliveira *et al.* (2012) as técnicas de geoprocessamento tem sido amplamente utilizadas para monitorar as características biofísicas e as ações antrópicas na Terra, de modo que nos últimos anos o zoneamento do uso da terra tem sido realizado visando identificar áreas que necessitam de um manejo adequado, tanto em relação à erosão do solo quanto ao vigor da vegetação, e auxiliando a estabelecer condições de uso sustentável.

Os cálculos dos índices de vegetação, que são medidas radiométricas adimensionais, foram criados para distinguir as informações espectrais da vegetação em relação as demais superfícies da terra (Oliveira *et al.*, 2009) e indicar a quantidade e qualidade da vegetação em uma área imageada (Jensen, 2009). Portanto, orientam o manejo adequado dos recursos florestais e permitem analisar se a exploração dos recursos está de acordo com a capacidade de recuperação dos sistemas agrícolas.

Através do parâmetro NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) é possível identificar as alterações no uso e ocupação da terra num determinado período e dessa forma, contribuir com práticas de educação ambiental para o manejo adequado dos recursos naturais.

Segundo Ramos *et al.* (2010), os índices de vegetação têm sido muito utilizados no monitoramento de áreas vegetadas, na determinação, estimativa do índice de área foliar, biomassa e da radiação fotossinteticamente ativa.

Pesquisa feita na Mongólia para melhorar a precisão da estimativa da cobertura do solo usando imagens Landsat, utilizou o NDVI através de séries temporais sazonais derivadas no sudeste de Ohio por seis abordagens de modelagem empírica. Os resultados mostram claramente que o uso de séries temporais sazonais do NDVI pode resultar em uma estimativa mais precisa da cobertura da terra. Este estudo sugere que pesquisas futuras devem prestar mais atenção aos dados sazonais. (Elker *et al.*, 2015)

Conforme Aquino *et al.* (2016) ao pesquisar o NDVI na bacia hidrográfica do rio Longá, a detecção de mudanças a partir da identificação das diferenças entre dois conjuntos de imagens tomadas da mesma área em diferentes épocas é um processo que permite avaliar alterações no estado de um objeto ou fenômeno. Essas mudanças resultam das alterações nos valores de radiância dos pixels nas imagens tomadas em épocas distintas. Segundo estes autores, a partir da utilização da detecção de mudanças, diferentes fenômenos podem ser identificados, como desmatamentos, modificações do uso da terra (substituição de matas nativas por agricultura), queimadas e etc.

Diante do exposto, o presente trabalho objetiva mapear a estimativa do NDVI da bacia hidrográfica do rio Gurguéia, na porção Sul do Estado do Piauí, localizada na nova fronteira agrícola de grãos brasileira denominada MATOPIBA, a qual envolve os Estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, utilizando como metodologia a análise da variação temporal da cobertura vegetal através do emprego de imagens de satélite dos anos de 1987

A geologia da BHRG é do tipo sedimentar, na porção Centro-Norte verifica-se a ocorrência de rochas correspondentes as formações Poti, Piauí, Longá, além de depósitos aluvionares, constituintes da bacia sedimentar do Parnaíba. Na porção Sul, há ocorrência de arenitos, siltitos e conglomerados associados às formações Urucuia e Areado, unidades litoestratigráficas pertencentes a porção setentrional da Bacia Sedimentar do São Francisco (Morais, 2018).

Quanto aos solos presentes na BHRG, o Latossolo Amarelo ou Vermelho-Amarelo, de textura média a argilosa e de boa drenagem, predomina sobre os chapadões na margem esquerda do Gurgueia. O mesmo tipo ocorre no talvegue e na margem direita, de menor altitude, porém, nesses locais estão associados a Aluviões, Neossolos Quartzarênicos e Neossolos Litólicos. No vale do Gurgueia, os aluviões recentes, situados ao nível do rio, sofrem alagamentos periódicos, entre janeiro e abril, e possuem bons níveis de fertilidade natural (BRASIL, 2006).

Encontra-se também presente na BHRG os Neossolos Quartzarênicos principalmente nas margens do rio e seus tributários. Este tipo de solo tem como características: textura arenosa com finíssimos grãos de quartzo, pouca argila em seu complexo granulométrico, baixa capacidade para retenção de umidade e acentuada drenagem. Os Neossolos Litólicos, Latossolos e Argissolos podem estar associados a esses solos (BRASIL, 2006).

Quanto a declividade a BHRG apresenta predominância de relevo do tipo suave ondulado (39%) a plano (24%) (Aquino, Campos, Ratke, 2014). Tais características favorecem o desenvolvimento do agronegócio na bacia que utiliza de maquinários do processo de produção a colheita.

França, *et al.* (2016) mapearam as áreas prioritárias a conservação em função da declividade do terreno na bacia hidrográfica do rio Gurgueia, identificando que a elevada inclinação na área, favorece o surgimento de processos erosivos e influenciam nos processos de assoreamento dos cursos d'água na bacia.

Destaca-se, que a ocorrência de aquíferos na BHRG é representada pelos sedimentos clásticos, médios a grosseiros, às vezes conglomeráticos, que constituem os aquíferos Serra Grande e Cabeças, e o Poti/Piauí. Já as formações Pimenteiras e Longá, constituídas por sedimentos clásticos finos ou pelíticos, caracterizam-se mais como confinantes das formações mais arenosas subjacentes (GOV-PI, 2016).

O vale do Gurguéia apresenta grande potencial em águas subterrâneas, entretanto, existe um grande desperdício de água proveniente de poços artesianos presentes na BHRG (Figura 2), resultante da perfuração inadequada e sem finalidade aparente nessa região.



Figura 2. Poço jorrante no município de Cristino Castro em julho de 2019.

Fonte: Acervo das autoras (2019).

O clima predominante na BHRG é do tipo Aw (Köppen), com temperatura média de 26,5 °C, precipitação média anual de 1000 mm, com estação chuvosa de outubro a abril, sendo novembro a janeiro o trimestre mais chuvoso, com ocorrência de veranicos (Sousa *et al.*, 2018), tal circunstância proporciona a redução da vazão do rio Gurguéia e seus tributários no período de estiagem.

Conforme a CPRM (2018) em análise histórica dos aspectos climáticos na região hidrográfica do Gurgueia para o período de 1973-2016, foi observado um comportamento

de seca, mais severa quanto ao rio Parnaíba. Neste período o rio Gurgueia apresentou comportamento abaixo da média histórica mas em um quadro menos desfavorável.

A vegetação dominante no topo das chapadas e na margem do rio Gurgueia é do tipo Cerrado, especificamente dos campos cerrados. As árvores são distribuídas com pequena densidade, distanciadas entre si por espaços abertos, onde a superfície do terreno é completamente recoberta por um estrato arbustivo e herbáceo, de moitas e gramíneas (Figura 3). Também estão presentes extensas áreas de caatinga, especialmente na região do Alto Gurgueia entre Gilbués e Corrente, bem como existem pequenas áreas de contato caatinga-cerrado (GOV-PI, 2016).



Figura 3. Aspectos da vegetação na bacia hidrográfica do rio Gurgueia em julho de 2019.

Fonte: Acervo das autoras (2019).

Nas últimas décadas a área tem passado por forte intervenção antrópica, principalmente em função da nova fronteira agrícola brasileira, que se estrutura na região do MATOPIBA, expressão que resulta de um acrônimo criado com as iniciais dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, que abrange 337 municípios em uma área de 73.173.485

hectares (Pereira; Pauli, 2016), sendo importante o estudo dos seus aspectos ambientais e as consequências das intervenções antrópicas das últimas décadas.

Conforme *Bandeira et al.* (2010), o crescimento econômico na área da bacia hidrográfica do rio Gurguéia foi viabilizado, por meio, de incentivos fiscais, programas e projetos governamentais que influenciaram a expansão agrícola nos cerrados piauiense, acelerando o uso e ocupação destas áreas, através da agricultura mecanizada, cultivando principalmente oleaginosa para atender a demanda do mercado exportador, para tanto, este crescimento devasta a vegetação e degrada os solos que são vulneráveis ao uso desenfreado de agrotóxico, podendo comprometer o ecossistema local.

METODOLOGIA

A pesquisa foi desenvolvida em duas etapas. Primeiro fez-se o levantamento bibliográfico sobre a área de estudos junto ao IBGE, CPRM, SEMAR e em periódicos que abordam a temática em estudo.

Para alcançar o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) foi necessária a obtenção de cenas dos imageadores Thematic Mapper (TM) e Operational Land Imager (OLI), respectivamente, do satélite Landsat 5 e Landsat 8, junto ao banco de dados do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS, 2019). As cenas em questão possuem as seguintes características (Quadro 1).

Landsat 5 TM			Landsat 8 OLI		
Ponto	Órbita	Data	Ponto	Órbita	Data
219	065, 066, 067	10/07/1987	220	065, 066, 067	17/07/2017

Quadro 1. Características das imagens Landsat utilizadas no estudo.

Fonte: Organizado pelas autoras (2019).

Destaca-se que todas as imagens passaram por correções geométricas, enquanto as cenas do satélite Landsat 8 passaram por conversão radiométrica (16 para 8 bits). O produto foi utilizado para emprego da Equação 3 do NDVI, descrita abaixo (Jensen, 1996 *apud* Melo;

Sales; Oliveira, 2011). Posteriormente, foi realizado processo de reclassificação NDVI foi efetuado por meio da extensão Spatial Analyst Tool e ferramenta Reclassify do ArcGIS, resultando nos intervalos e classes expostos (Tabela 1).

$$NDVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)} \quad (1)$$

Onde:

NDVI = índice de vegetação por diferença normalizada;

NIR = refletância no comprimento de onda correspondente ao Infravermelho Próximo – bandas 4 e 5 respectivamente (0,76 a 0,90 μm para o Landsat 5 e 0,85 a 0,88 μm para o Landsat 8);

R = refletância no comprimento de onda correspondente ao Vermelho (0,63 a 0,69 μm para o Landsat 5 e 0,64 a 0,67 μm para o Landsat 8).

Intervalos do NDVI	Classes atribuídas	Notas
0,6 a 0,8	Vegetação com alta atividade fotossintética	1
0,4 a 0,6	Vegetação com média atividade fotossintética	2
0,2 a 0,4	Vegetação com baixa atividade fotossintética	3
0,1 a 0,2	Vegetação com muito baixa atividade fotossintética	4
0 a 0,1	Solo exposto	5
< 0,1	Corpo hídrico	-

Tabela 1. Intervalos, classes atribuídas e notas ao índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI).

Fonte: Elaborado pelas autoras (2019).

Destaca-se que foi empregada a ferramenta Spatial Analyst Tools e função Reclassify pertencente ao SIG ArcGIS, versão 10.2, cuja licença foi adquirida pela Universidade Federal do Piauí (UFPI), para observar a variação do NDVI na BHRG.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A BHRG está inserida num ecossistema que vem sofrendo pressão negativa com a intensidade das atividades antrópicas nas últimas décadas através do uso e manejo da terra como desmatamentos, queimadas, garimpagem, extrativismo vegetal e mineral, o que interfere na cobertura da superfície, tornando-se relevante o monitoramento pelo NDVI, objetivo deste trabalho.

Dessa forma, a análise temporal da cobertura vegetal torna-se relevante para fins de planejamento e gestão ambiental da bacia, pois permite identificar as fragilidades e potencialidades do ambiente, como também propor alternativas de uso sustentável tanto da vegetação como de outros recursos naturais a ela associada.

A cobertura vegetal do BCRG reflete as condições climáticas e pedológicas da área, apresentando transições vegetais entre caatinga e cerrado. Para analisar a dinâmica da alteração do ambiente na bacia a partir da variação da vegetação, fez-se análise temporal através do índice de vegetação ajustado ao solo NDVI entre os anos de 1987 e 2017 (Figura 4), que analisa a condição da vegetação no campo através de sensoriamento remoto. Na Tabela 2 observa-se a diferença entre as classes para cada ano no mês de julho, quando as imagens demonstraram melhor resposta para interpretação da bacia em estudo.

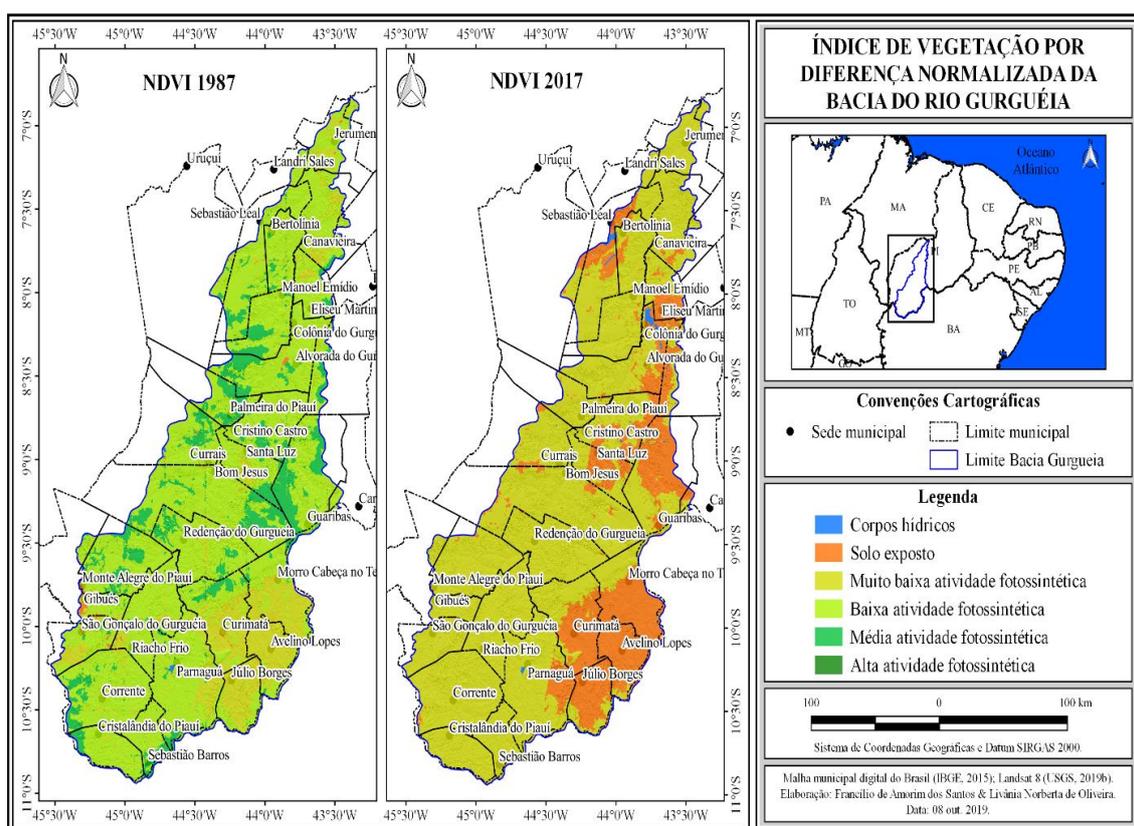


Figura 4. NDVI da bacia hidrográfica do rio Gurgueia para os anos de 1987 e 2017.
Fonte: Elaborado pelas autoras (2020).

Classes	(%) 1987	(%) 2017
<i>Corpos hídricos</i>	0,8	0,8
<i>Solo exposto</i>	8,3	24,4
<i>Muito baixa atividade</i>	31,6	73,4
<i>Baixa atividade</i>	23,1	1,4
<i>Média atividade</i>	35,8	0,0
<i>Alta atividade</i>	0,4	0,0

Tabela 2. Porcentagem de cada classe do NDVI na BHRG em 1987 e 2017

Fonte: Pesquisa direta (2019).

O resultado observado na figura 4 demonstra que a área de solo exposto aumentou de 8,3% em 1987 para 24,4% em 2017, principalmente na porção Sudeste, no alto curso da bacia, entre os municípios de Curimatá, Júlio Borges e cabeça Morro do Tempo, onde o desmatamento por empresas de carvoarias é mais intenso na área da bacia. Assim como na porção Centro-Norte, referente ao médio e baixo curso da bacia, entre os municípios de Guaribas e Bertolândia, área com predominância de solo do tipo Argissolo Vermelho-Amarelo conforme pode se observar na Figura 5, possibilitando nesta área o aspecto de solo exposto.



Figura 5. Área de solo exposto no município de Elizeu Martins em julho de 2019

Fonte: Acervos das autoras (2019).

Observa-se ainda na figura 4 que o NDVI resultou classificação de muito baixa atividade em 31,6% da área da bacia para o ano de 1987, em contraste com o ano de 2017 que resultou 73,4% para a mesma classe, retratando assim o efeito da alteração da vegetação e conseqüentemente do ambiente em função da expansão do agronegócio na BHRG, que faz a substituição da vegetação natural pela cultura de grãos (Figura 6).



Figura 6. Plantação de soja na Serra do Quilombo em Bom Jesus, em julho de 2019.
Fonte: Acervo das autoras (2019).

Destaca-se ainda que o NDVI resultou em baixa atividade fotossintética numa área correspondente a 23,1% em 1987 e 1,4% em 2017, assim como houve uma redução da área classificada com média atividade fotossintética entre os anos de 1987 (35,5%) e 2017 (0%). Estes resultados são observados na porção Centro-Norte da BHRG, principalmente nas áreas de brejo no médio e baixo curso da bacia, onde há uma predominância da vegetação do tipo cerrado.

Observa-se portanto, a alteração da vegetação na BHRG a partir da análise do NDVI em 1987 e 2017 em função das intervenções antrópicas que provocou o desmatamento e a substituição da vegetação natural, sendo extremamente relevante a aplicação de técnicas para o manejo adequado da vegetação como forma de manter a sustentabilidade dos recursos naturais com solo e lençol freático a médio e longo prazo.

Bandeira *et al.* (2010) analisaram os impactos do processo de expansão da fronteira agrícola no município de Bom Jesus no período de 1990 a 2009, através de técnicas de

sensoriamento remoto, detectou mudanças na cobertura da terra devido a expansão do agronegócio principalmente de cultivo de arroz e soja neste município conforme se observa na tabela 3. Os autores ainda afirmam que os grandes latifúndios e os incentivos fiscais proporcionaram a acessibilidade dos fazendeiros do sul, por encontrar nessa região muitas terras, a preços baixos e sem nenhuma resistência dos colonos, podendo expandir suas expectativas para o implemento do agronegócio.

Cultivo/anos	Arroz		Soja	
	A	B	A	B
2000	1.893	3.190	8.494	18.500
2001	5.669	14.688	49.770	16.848
2002	7.671	1.893	12.582	8.494
2003	3.190	3.110	18.500	28.022
2004	7.448	4.827	91.727	60.295
2005	5.101	11.746	24.429	77.446
2006	3.380	6.860	27.215	69.016
2007	-	-	-	-
2008	3.110	7.448	28.022	91.725

A - Área plantada (ha) B - Quantidade produzida (t)

Tabela 3. Produção de arroz e soja no município de Bom Jesus-PI de 2000 a 2008

Fonte: Bandeira *et al.* (2010).

As principais culturas desenvolvidas na área são de feijão, milho e soja, cujas produções estão localizadas principalmente no topo dos planaltos e chapadas, nas terras baixas a agricultura familiar é predominante e com cultivo diversificado.

Em pesquisa sobre a mata ciliar as margens do rio Gurguéia no município de Bom Jesus, Silva *et al.* (2015) afirmam que as margens do rio tem sofrido impactos com as atividades da agricultura familiar que se utiliza muitas vezes do uso de queimadas para o desenvolvimento das culturas anuais e pastagens, tornando a mata ciliar bastante fragmentada, degradando assim, os ecossistemas associados à bacia. Destacam ainda estes

autores que, as matas ciliares possuem importante função hidrológica: escoamento das águas das chuvas, atenuação dos picos dos períodos de cheia, dissipação de energia do escoamento superficial e ciclagem de nutrientes.

Em estudo sobre o uso e cobertura da terra na BHRG, Oliveira e Aquino (2019) verificaram que a vegetação na bacia sofreu redução de 31,76% principalmente nas margens do rio e na porção do alto-médio curso do rio Gurguéia.

Destacam Silva *et al.* (2015) a importância que ocorra intervenções nestas áreas degradadas, com técnicas de manejo, visando aumentar o processo de regeneração e restauração das espécies, permitir que ocorra sucessão, e dessa forma evitar a perda da biodiversidade.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O NDVI demonstra ser uma ferramenta apropriada no gerenciamento e monitoramento de áreas plantadas e nativas, uma vez que pode detectar alterações na cobertura vegetal com rapidez e baixo custo operacional.

Verificou-se que na análise temporal do NDVI nos anos de 1987 e 2017 houve significativa alteração da vegetação na BHRG, havendo redução aproximada de 35,8% da atividade fotossintética devido a substituição de vegetação nativa pela cultura de grãos como soja e arroz.

O NDVI da BHRG demonstrou aumento da área de solo exposto de 8,3% em 1987 para 24,4% em 2017, principalmente na porção Sudeste da bacia NDVI, assim como o aumento da área com classificação muito baixa atividade fotossintética, de 31,6% em 1987 para 73,4% em 2017 retratando assim o efeito da alteração da vegetação e conseqüentemente do ambiente, em função principalmente da expansão do agronegócio na bacia.

Destaca-se ainda que as áreas com baixa atividade fotossintética foram reduzidas, de 23,1% em 1987 para 1,4% em 2017, assim como houve uma redução da área classificada com média atividade fotossintética entre os anos de 1987 (35,5%) e 2017 (0%). Desta forma,

constata-se um aspecto negativo da supressão da vegetação em larga escala na área da bacia, em função também do período de estiagem, o que pode gerar a médio e longo prazo impactos negativos na manutenção do ecossistema por influenciar também na alteração dos aspectos do solo e do lençol freático da bacia, considerado um dos mais importante do Estado.

Constatou-se assim, o aumento do desmatamento na BHRG, o que contribui para a geração de processos de degradação, podendo comprometer a qualidade ambiental, assim como interferir na qualidade do ecossistema, deixando o solo mais susceptível à erosão, assoreamento, alterações no lençol freático, entre outros.

Nesse contexto, é de vital importância que ocorram intervenções nestas áreas degradadas, sendo necessária a adoção de medidas mitigadoras dos impactos negativos oriundos das atividades socioeconômicas, tais como, o zoneamento ecológico-econômico, criação de corredores ecológicos e elaboração de planos de manejo, visando aumentar o processo de regeneração e restauração das espécies, e dessa forma evitar a perda da biodiversidade.

Diante disso, torna-se relevante que ações importantes sejam tomadas, como a atuação mais efetiva do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Gurguéia, criado em 22 de março de 2014, com o propósito de que uma gestão participativa com os atores sociais envolvidos possa garantir maior sustentabilidade da bacia.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa Nacional de Pós-Graduação (PNPD/CAPES) pelo financiamento da pesquisa e ao Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal do Piauí pelo estágio de Pós-doutorado.

REFERÊNCIAS

- AQUINO, I. O.; CAMPOS, A.R.; RATKE, R.F.; Caracterização da fitofisionomia e de solos na Sub-bacia hidrográfica do Alto Médio Gurguéia por Sistemas de Informações Geográficas – SIG. *In: XXIII Seminário de iniciação científica da UFPI*, Teresina-PI, 2004.
- AQUINO, C. M. S; DIAS, A. A; SANTOS, F. A. Análise temporal do NDVI da bacia hidrográfica do rio Longá - Piauí – Brasil. **Revista Formação** (ONLINE) Vol. 3; n. 23, 2016. p.248-263.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Caderno da região hidrográfica do Parnaíba**. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente, 2006.
- BANDEIRA, E. G.; ALVES, C. M. D.; MELO, L. F. DE S.; Análise temporal por imagens landsat da expansão da fronteira agrícola no município Bom Jesus-PI. **III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**, 2010 p. 1-6.
- ECKERT, S.; HÜSLER, F.; LINIGER, H.; HODEL, E. Trend analysis of MODIS NDVI time series for detecting land degradation and regeneration in Mongolia. **Journal of Arid Environments**. v. 113, 2015. p. 16-28, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2014.09.001> Acesso em 24/11/2020.
- GODOY, V. N. de; CRUZ, R.C.; Self-management of water resources - case study of river basin Santa Maria- RS. **Ciência e Natura**, v.38, n.2, Mai.- Ago., 2016. p. 980 –997.
- GOVERNO DO PIAUÍ; **Caracterização bacia do Rio Gurguéia**, 2016. Disponível em: <<http://www.ccom.pi.gov.br/download/GURG.pdf>> Acesso em: 30 de maio de 2016.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Levantamento sistemático da produção agrícola**. Disponível em:<<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9201-levantamento-sistematico-da-producao-agricola.html?=&t=o-que-e->>. Acesso em julho de 2019.
- FRANÇA, L. C. de J.; ROCHA, S. J. S. S. da; LISBOA, G.; DOS S.; SILVA, J. B. L. da; FONSECA, B. S. F. da; Áreas de encostas prioritárias à conservação na bacia hidrográfica do rio Gurguéia, Piauí, Brasil. **Anais do Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia CONTECC**, 2016
- JENSEN, J. R.; **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 2ª ed., São José dos Campos: Parêntese, 2009.
- MORAIS, R. C. de S.; **Contribuição metodológica para a elaboração do diagnóstico físico-conservacionista (dfc) em bacias hidrográficas: aplicação na bacia do alto Gurguéia, Piauí (BRASIL)**. Tese (doutorado) Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Ceará, 2018, 151f.
- NUCCI, J. C.; **Qualidade Ambiental e Adensamento Urbano – Um estudo de ecologia e planejamento da paisagem aplicado ao distrito de Santa Cecília (MSP)**. São Paulo:Humanitas/FAPESP. 236P, 2001.

OLIVEIRA, L. N.; AQUINO, C. M.S. de. Dinâmica Temporal do uso e cobertura da terra na fronteira agrícola do MATOPIBA: Análise na sub-bacia hidrográfica do rio Gurguéia-Piauí. **Revista Equador (UFPI)**, Vol. 9, Nº 1, 2019. p.317 – 333.

OLIVEIRA, L. M. M.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ANTONINO, A. C. D.; SILVA, B. B.; MACHADO, C. C. C.; GALVÍNCIO, J. D. Análise quantitativa de parâmetros biofísicos de bacia hidrográfica obtidos por sensoriamento remoto. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n.9, Set. 2012. p. 1209 - 1217.

OLIVEIRA, T. H.; GALVÍNCIO, J. D; SILVA, J. S.; SILVA, C. A.V.; SANTIAGO, M. M.; MENEZES, J. B.; SILVA, H. A.; PIMENTEL, R. M. M.; Avaliação da Cobertura Vegetal e do Albedo da Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó com Imagens do Satélite Landsat 5. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, **Anais...**, Natal: INPE, abril, 2009. p. 2865-2872.

PEREIRA, L. I.; PAULI, L. O processo de estrangeirização da terra e expansão do agronegócio na região do Matopiba / The process of land grabbing and expansion of agribusiness in Matopiba. **Campo-Território: Revista de Geografia Agrária**, v. 11, n. 23 Jul., 2016.

SEMAR (Secretaria do meio ambiente e Recursos hídricos do Piauí). **Plano estadual de recursos hídricos do Estado do Piauí**. Relatório síntese. Governo do Estado do Piauí, 2010.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM. **Relatório situacional dos recursos hídricos superficiais da bacia hidrográfica do rio Parnaíba**. SACE – Sistema De Alerta De Eventos Críticos Residência De Teresina – RETE, 2017.

SILVA, L. S. da; ALVES, R.; NUNES, A. K. A.; MACEDO, de S.; MARTINS, A. da R.; Florística e fitossociologia em um remanescente de mata ciliar na bacia do Rio Gurguéia-PI. **Nativa**, Sinop, v. 03, n. 03, jul./set. 2015. p.156-164.

SOUSA, G. B. de; CAMPOS, L. P.; SILVA JUNIOR, J. F. da; GUIMARÃES, G. S. C.; Parâmetros físico-químicos das águas da bacia do Rio Gurguéia- PI. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental** (Pombal - PB – Brasil). v. 12, n. 1, jan-dez, 2018. p.01-06.

THORNTHWAITE, C. W.; Atlas of Climatic Types in the United States. **Miscell Publ.** n.421. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, 1941.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Status of desertification and implementation of the United Nations Plan of Action to Combat Desertification**. UN: Nairóbi, 1991.

UNITED STATES GEOLOGICAL SERVICE (Serviço Geológico dos Estados Unidos). **Digital elevation: SRTM 1 Arc-Second Global**. 2019. Disponível em: <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 23 jul. 2019a.

UNITED STATES GEOLOGICAL SERVICE [Serviço Geológico dos Estados Unidos]. **Collection: landsat archive**. Disponível em: <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 23 jul. 2019b.