

**APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR
DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI) NA
AVALIAÇÃO DA COBERTURA VEGETAL DO
MUNICÍPIO DE REGENERAÇÃO, ESTADO DO PIAUÍ,
BRASIL**

<https://seer.ufs.br/index.php/geonordeste>
ISSN: 2318-2695

Recebido em 23 de Setembro de 2019
Aprovado em 22 de Novembro de 2020

**APPLICATION OF STANDARDIZED DIFFERENCE
VEGETATION INDEX (NDVI) IN THE EVALUATION OF
VEGETABLE COVERAGE IN THE REGENERAÇÃO
MUNICIPALITY IN STATE OF PIAUÍ, BRAZIL**

**APLICACIÓN DEL ÍNDICE DE VEGETACIÓN DE
DIFERENCIA ESTÁNDAR (NDVI) EN LA EVALUACIÓN DE
LA COBERTURA DE VEGETALES EN EL MUNICIPIO DE
REGENERAÇÃO, ESTADO DE PIAUÍ, BRASIL**

DOI 10.33360/RGN.2318-2695.2020.i2.p.230-246

Grenda Juara Alves Costa

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Mestranda no Departamento de Engenharia Cartográfica
E-mail: grendajuara@hotmail.com
Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7028-2224>

Karoline Veloso Ribeiro

Universidade Federal do Piauí - UFPI
Professora do Colégio Técnico de Bom Jesus
E-mail: karolynnyribeiro_18@hotmail.com
Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2697-6098>

Emanuel Lindemberg Silva Albuquerque

Universidade Federal do Piauí - UFPI
Professor do Curso de Geografia
E-mail: lindemberg@ufpi.edu.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3051-3301>

RESUMO

A supressão da cobertura vegetal nativa traz diversas consequências não só para a qualidade de vida humana, como também para a manutenção do meio ambiente. Ao considerar que as áreas de cerrado são promissoras para as atividades agrícolas, o município de Regeneração, Estado do Piauí, inserido na Microrregião do Médio Parnaíba, entra no circuito do agronegócio de grãos e outras culturas. Diante disto, a pesquisa teve como objetivo avaliar a cobertura vegetal do referido município, utilizando o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) permitindo, assim, um panorama da cobertura vegetal no tempo e no espaço, numa série histórica de 30 anos (1986, 1996, 2006 e 2016). Para tanto, utilizou-se as imagens orbitais do sensor TM do Landsat 5 (anos de 1986, 1996, 2006) e do sensor OLI do Landsat 8 (ano de 2016). A classificação supervisionada, a partir do NDVI, foi definida em três classes de antropização, cuja análise espectral corroborou o avanço das áreas comprovadamente agrícolas. Além disso, esse método permitiu atribuir às classes informações mais detalhadas, sobretudo, ao nível de proteção da cobertura vegetal ao solo. O resultado do NDVI para as classes de antropização nos anos de 1986 a 2016 aponta aumento de 128,93% na Classe III (Alta antropização), enquanto as Classes II (Moderada antropização) e I (Baixa ou nenhuma antropização) evidenciaram uma redução de 17,98% e 53,04%, respectivamente. Neste cenário, torna-se importante o monitoramento da cobertura vegetacional, tendo em vista a interligação entre os fatores e elementos ambientais.

Palavras-chave: Avanço Agropecuário; Alterações na Cobertura Vegetal; Desmatamento.



ABSTRACT

The suppression of native vegetation cover has several consequences not only for the quality of human life, as also for the maintenance of the environment. Considering that the Cerrado areas are promising for agricultural activities, the municipality of Regeneração, State of Piauí, inserted in the Microregion of the Middle Parnaíba, enters the agribusiness circuit of grains and other crops. Given this, the research aimed to evaluate the vegetation cover of that municipality, using the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), thus allowing a panorama of the vegetation cover in time and space, in a historical series of 30 years (1986, 1996, 2006 and 2016). For this, the orbital images of the Landsat 5 TM sensor (1986, 1996, 2006) and the Landsat 8 OLI sensor (2016 year) were used. The supervised classification, based on NDVI, was defined in three classes of anthropization, whose spectral analysis corroborated the advance of proven agricultural areas. In addition, this method allowed the classes to be given more detailed information, especially the level of protection of the ground cover. The NDVI result for the anthropization classes from 1986 to 2016 points to a 128.93% increase in Class III (High anthropization), while Classes II (Moderate anthropization) and I (Low or no anthropization) showed a reduction of the 17,98% and 53,04%, respectively. In this scenario, it is important to monitor vegetation cover, considering the interconnection between environmental factors and elements.

Keywords: Agricultural Advancement; Changes in Vegetation Cover; Deforestation.

RESUMEN

La supresión de la cubierta vegetal nativa tiene varias consecuencias no solo para la calidad de la vida humana, pero también para el mantenimiento del medio ambiente. Considerando que las áreas del Cerrado son prometedoras para actividades agrícolas, el municipio de Regeneração, Estado de Piauí, insertado en la Microrregión de la Parnaíba Medio, ingresa al circuito de agronegocios de granos y otros cultivos. Ante esto, la investigación tuvo como objetivo evaluar la cubierta vegetal de ese municipio, utilizando el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), permitiendo así un panorama de la cubierta vegetal en el tiempo y el espacio, en una serie histórica de 30 años (1986, 1996, 2006 y 2016). Para esto, se utilizaron las imágenes orbitales del sensor Landsat 5 TM (1986, 1996, 2006) y el sensor Landsat 8 OLI (año 2016). La clasificación supervisada, basada en NDVI, se definió en tres clases de antropización, cuyo análisis espectral corroboró el avance de áreas probadamente agrícolas. Además, este método permitió que las clases recibieran información más detallada, especialmente el nivel de protección de la cubierta del suelo. El resultado del NDVI para las clases de antropización de 1986 a 2016 apunta a un aumento del 128,93% en la Clase III (Antropización alta), mientras que las Clases II (Antropización moderada) y I (Antropización baja o nula) mostraron una reducción de 17,98% y 53,04%, respectivamente. En este escenario, es importante monitorear la cubierta vegetal, considerando la interconexión entre factores y elementos ambientales.

Palabras clave: Avance Agrícola; Cambios en la Cubierta Vegetal; Deforestación.

1. INTRODUÇÃO

O monitoramento da cobertura vegetal com o uso de produtos do sensoriamento remoto, aliado às técnicas integradas em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), têm se mostrado eficiente nas pesquisas e na análise ambiental. Ao considerar que as inovações tecnológicas vêm potencializando novos estudos na contemporaneidade, Albuquerque e Medeiros (2017) destacam que os preceitos da geoinformação possuem uma aplicação efetiva nesse tipo de análise.

Sabe-se que a cobertura vegetal se apresenta como um fator importante na manutenção dos recursos naturais, pois, além de exercer papel essencial na manutenção do ciclo da água, protege o solo contra o impacto das gotas de chuva, aumentando a porosidade e a permeabilidade através da



ação das raízes, bem como reduzindo o escoamento superficial e mantendo a umidade e a fertilidade no solo, pela presença de matéria orgânica (BELTRAME, 1994).

Além disso, a vegetação propicia a conservação da biodiversidade, fornecendo abrigo, alimento e proteção à fauna nativa, entre outras funções ambientais (LEITE; ROSA, 2012). No entanto, sabe-se que nas últimas décadas as modificações na paisagem têm sido constantes, tendo em vista os processos de urbanização, quando implementados de forma inadequada, bem como pela expansão das fronteiras agrícolas.

Com a redução da vegetação natural, causadas essencialmente pelas atividades antrópicas, diversas são as consequências não só para a qualidade de vida da população, como também na manutenção dos recursos hídricos e na conservação da biodiversidade, em virtude da intensa simbiose que há entre flora e fauna.

Diante desse cenário, a presença da vegetação é necessária para entender a dinâmica e funcionamento da natureza. Com isso, faz-se necessário um aprofundamento na investigação quanto à dinâmica da supressão vegetal associada às pressões antrópicas, a fim de assegurar o bem-estar das populações e o uso sustentável desses recursos (THIAGO; MAGALHÃES; SANTOS, 2010). Nesse viés, o sensoriamento remoto tem se mostrado como uma excelente ferramenta para o monitoramento das coberturas vegetais, uma vez que permite analisá-las de acordo com sua distribuição espacial e em diferentes períodos, minimizando, assim, o tempo de aquisição e análise dos dados, ao possibilitar uma maior rapidez na obtenção de resultados.

Diante do exposto, pode-se afirmar que a utilização de ambientes computacionais em SIG facilita o trabalho na integração de dados de sensores remotos, possibilitando a análise espacial, a modelagem dos ambientes e a compreensão de determinados fenômenos de forma mais ágil, bem como na projeção de cenários futuros (FLORENZANO, 2005).

Diversos métodos e técnicas aplicadas aos produtos do sensoriamento remoto, a partir da utilização de imagens orbitais, vêm sendo desenvolvidos e cada vez mais aprimorados nas abordagens e no entendimento dos processos de apropriação dos recursos naturais pelo homem, principalmente quando relacionados aos impactos ambientais decorrentes de atividades antrópicas (MATIAS, 2009).

Dentre as técnicas de tratamento e processamento de imagens digitais que possibilitam a exploração de dados de sensores remotos, destaca-se o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), que permite identificar a presença de vegetação e caracterizar sua distribuição espacial e sua evolução no decorrer do tempo (LOBATO et al., 2010).

Devido à necessidade contínua de avaliação e acompanhamento dos recursos vegetais, imprescindíveis à sociedade, técnicas como índices de vegetação têm sido empregadas a fim de



monitorar e avaliar a cobertura vegetal em diversas escalas (RODRIGUES, 2012). Sob esta perspectiva, a pesquisa objetivou avaliar a cobertura vegetal do município de Regeneração, Estado do Piauí, utilizando o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada permitindo, assim, um panorama da cobertura vegetal no tempo e no espaço, numa série histórica de 30 anos (1986, 1996, 2006 e 2016).

A escolha deste município é justificada pelo fato de compreender a expansão do agronegócio para além dos setores oficiais que delimitam o chamado MATOPIBA¹, que é considerada a nova fronteira agrícola no Brasil, associado ao fato de sua localização está situada no médio curso do Rio Parnaíba, tendo o Rio Mulato como afluente.

Destaca-se que o NDVI tem sido um índice de vegetação muito utilizado em aplicações florestais, de agricultura e para questões ecológicas, sendo um importante parâmetro para diversos modelos hidrológicos e bioquímicos (PARDI LACRUZ, 2006), bem como para verificar mudanças na cobertura do solo (NATH, 2014).

De acordo com Cruz; Souza; Jesus (2011), os índices de vegetação são operações algébricas que envolvem faixas de reflectância específicas, sendo comumente empregado pela comunidade científica para determinar a cobertura vegetal, sua densidade e/ou avaliação do comportamento de áreas desmatadas.

Desta forma, compreende-se que analisar a densidade da cobertura vegetal, assim como sua espacialidade, torna-se um importante mecanismo para os estudos voltados à análise da supressão vegetacional (MELO, 2008), ao considerar que as técnicas e ferramentas de sensoriamento remoto são eficientes na análise dos índices espectrais que são capturados pelos sensores remotos.

2. MATERIAL E MÉTODO

2.1 ÁREA DE ESTUDO

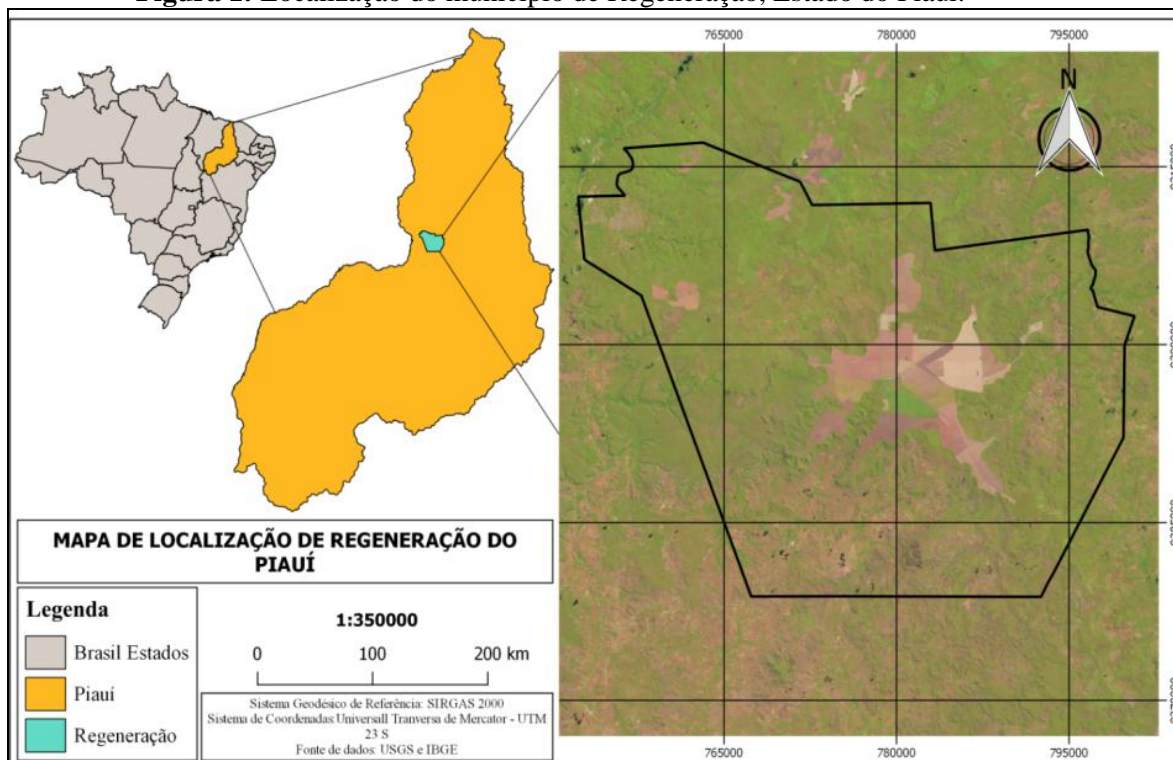
O município de Regeneração está situado na porção centro-norte do Estado do Piauí e inserido na Microrregião do Médio Parnaíba Piauiense e na bacia hidrográfica do Rio Parnaíba, compreendendo uma superfície de 1.252,42 km², com altitude média de 164 metros no perímetro urbano e distância aproximada de 140 km de Teresina, capital piauiense. A sede municipal tem como ponto central as coordenadas geográficas 06° 14' 16" de latitude sul e 42° 41' 18" de longitude oeste de Greenwich. Salienta-se que o município de Regeneração possui limites com

¹ Referência aos estados de Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia.



outros municípios piauienses, a saber: Angical do Piauí e Jardim do Mulato ao norte, Arraial ao sul, Francinópolis e Elesbão Veloso à leste e Amarante à oeste (Figura 1).

Figura 1: Localização do município de Regeneração, Estado do Piauí.



Fonte: IBGE (2018). Organização: Autores (2019).

Em seus indicadores demográficos, de acordo com o levantamento realizado no Censo Demográfico do IBGE (BRASIL, 2010), o município de Regeneração possuía aproximadamente 17.556 habitantes. Estimativas realizadas pelo IBGE (BRASIL, 2018) apontam que a população do município, nesse ano, foi de 17.978 habitantes.

Em relação ao contexto geológico, este município encontra-se inserido nas formações sedimentares de idade Paleomesozoica da Bacia Sedimentar do Parnaíba, com destaque para a Formação Corda, Formação Pedra de Fogo, Formação Piauí e Formação Poti. No que diz respeito às formas e modelados, a área de estudo apresenta dois compartimentos bem definidos, a saber: Superfícies Aplainadas Dissecadas em Interflúvios Tabulares e Superfícies Dissecadas em Colinas Tabulares (BRASIL, 2004).

O município de Regeneração apresenta clima tropical Aw, segundo a classificação climática de Köppen, predomínio de meses secos entre junho e setembro e período mais chuvoso compreendido entre janeiro e março. O índice pluviométrico, na sede do município, possui média anual de 1.371 mm com influência do regime Equatorial Continental (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007).



O principal curso d'água que drena o município é o Riacho Mulato, um importante afluente da margem direita do Rio Parnaíba, eixo principal da drenagem piauiense. Quanto às características pedológicas, é possível encontrar no município os Latossolos vermelho-amarelo e Argissolos (JACOMINE, 1986; PIAUÍ, 2010).

Em relação aos aspectos da vegetação, considerando as informações físico-naturais, o município de Regeneração/PI está inserido em uma área de ecótono, ou seja, uma área de transição que compreende estratos arbóreos, arbustivos e herbáceos que estão distribuídos em manchas espaciais de espécies representativas das Matas de Cocais e do Cerrado (BRASIL, 2004).

Ao considerar os dados agropecuários, constata-se um efetivo bovino de 5.409 cabeças, tendo o ano de 2018 como referência, representada numa área aproximada de 42.011 hectares. A silvicultura do eucalipto ocupava uma área de 3.663 hectares, sendo que as áreas destinadas à produção agrícola, tais como cereais, leguminosas e oleaginosas, encontram-se em franca expansão na área territorial em análise (BRASIL, 2010).

2.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E OPERACIONAIS

A pesquisa consistiu, em um primeiro momento, no levantamento e revisão de fontes bibliográficas (artigos e livros) relacionadas com a conceituação metodológica da proposta, bem como coleta de arquivos vetoriais e matriciais para montagem da base cartográfica.

Em um segundo momento, para retratar as mudanças da cobertura vegetal no recorte espacial da pesquisa, foram utilizadas imagens orbitais do sensor TM do Landsat 5 e do sensor OLI do Landsat 8. Destaca-se que as cenas do Landsat 5 (anos de 1986, 1996, 2006) e Landsat 8 (ano de 2016) foram obtidas no site do *United States Geological Survey* (USGS), contemplando uma série histórica de 30 anos, conforme é apresentado no quadro 1.

Quadro 1: Cenas utilizadas para o monitoramento da vegetação no Município de Regeneração, Estado do Piauí.

Satélites	Ponto/Órbita	Data
Landsat 5 TM (1986)	219/64	06/08/1986
Landsat 5 TM (1996)	219/64	01/08/1996
Landsat 5 TM (2006)	219/64	13/08/2006
Landsat 8 OLI (2016)	219/64	08/08/2016

Fonte: Elaboração dos autores (2019).

Considerando-se os objetivos do estudo, utilizou-se o método quantitativo-qualitativa para analisar, interpretar e espacializar os dados da matriz espectral, no intuito de gerar o Índice de



Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para o município de Regeneração/PI. Este índice é obtido pela razão entre a diferença da média da reflectância do infravermelho próximo (NIR) e do vermelho (R), derivados da subtração e soma dos mesmos canais, dados pela seguinte equação:

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$$

Onde: NDVI = Índice de Vegetação por Diferença Normalizada; NIR = banda do infravermelho próximo; R = banda do vermelho.

O índice supracitado permite avaliar as transformações ocorridas no decorrer do tempo, a partir do comportamento da cobertura vegetal em relação ao solo, possibilitando avaliar a cobertura vegetal para os anos em uma análise evolutiva.

O produto do NDVI pode explicar as propriedades espectrais da vegetação, sendo que o cálculo do índice é feito a partir da diferença entre as reflectâncias das bandas 4 (infravermelho próximo) e 3 (visível vermelho), dividido pela soma das reflectâncias dessas duas bandas. O resultado da combinação varia de -1 a 1, de modo que, quanto mais próximo de 1, maior será o indício de presença de vegetação e, quanto mais próximo de -1, maior indício de solo exposto.

Nesse aspecto, Lourenço e Landim (2004) afirmam que a clorofila na faixa do vermelho absorve a radiação solar, resultando em baixa reflectância. Por outro lado, na faixa do infravermelho próximo, a morfologia interna das folhas e a estrutura da vegetação geram alta reflectância da radiação solar incidente. No quadro 2 é apresentada uma caracterização geral, intervalo espectral e informações técnicas referentes às cenas aqui utilizadas.

Quadro 2: Características, intervalo espectral e informações técnicas referente às cenas 3 e 4.

Cenas	Intervalo Espectral (μm)	Características
3	Vermelho (0,62-0,69)	A vegetação verde, densa e uniforme apresenta grande absorção, apresentando tonalidade escura, o que permite um bom contraste entre as áreas ocupadas com vegetação e aquelas sem vegetação. Apresentar, ainda, bom contraste entre os diferentes tipos de cobertura vegetal (campo, cerrado e floresta).
4	Infravermelho próximo (0,78-0,90)	Os corpos de água absorvem muita energia, apresentando tonalidade escura, permitido o mapeamento da rede de drenagem e delineamento de corpos d'água; a vegetação verde, densa e uniforme, reflete muita energia, aparecendo bem clara nas imagens; apresenta sensibilidade da rugosidade da copa de florestas (Dossel Florestal); apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo a obtenção de informações sobre geomorfologia, solos e geologia; possibilita mapear áreas de floresta nativa e reflorestamento e áreas ocupadas com vegetação que foi queimada; permite a identificação de áreas agrícolas.

Fonte: Elaboração dos autores (2019).



Os índices de vegetação empregados foram desenvolvidos com o intuito de explicar as propriedades espectrais da vegetação, utilizando principalmente as regiões do visível e do infravermelho próximo. Estes têm por objetivo realçar o contraste espectral entre a vegetação e o solo, sendo que estão relacionados, também, aos parâmetros biofísicos da cobertura vegetal, podendo caracterizar o índice de área foliar, biomassa, radiação fotossinteticamente ativa absorvida, além de identificar efeitos de iluminação e declividade da superfície que influenciam na reflectância da vegetação (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010).

Para a confecção da base cartográfica, a pesquisa empregou técnicas de geoprocessamento a partir da utilização do *software* livre QGIS 2.18.9 e ArcGis 10.5 (Licença Estudantil), demonstrando bons resultados para o entendimento e análise da temática em questão. Ressalta-se, ainda, que os mapas de NDVI, para os anos de 1986, 1996, 2006 e 2016, foram gerados conforme o fluxograma metodológico da figura 2.

Figura 2: Fluxograma metodológico para o cálculo do NDVI.



Organização: Autores (2019).

Para a diferenciação das áreas de vegetação, a renderização aplicada foi a de falsa-cor, pois ela mostra a intensidade das variações ocorridas na área através da variação dos valores de -1 a 1, ou seja, quando não houver vegetação será -1 (menos um) e a máxima vegetação, de acordo com o cálculo, será 1 (um).



Através da função *Reclassify* do ArcGis, os dados do NDVI foram reclassificados em seis classes, nas quais as imagens ficaram representadas por níveis que variam de 1 a 6 que corresponde, respectivamente, às melhores e piores condições de cobertura vegetal (Tabela 1).

Tabela 1: Distribuição absoluta e relativa dos valores de NDVI.

Reclassificação	Intervalo	Classes de NDVI atribuída
1	(0,57 a 0,49)	Alta
2	(0,49 a 0,40)	Moderadamente alta
3	(0,40 a 0,31)	Moderadamente baixa
4	(0,31 a 0,22)	Baixa
5	(0,22 a 0,13)	Muito baixa
6	(< 0,13)	Solo exposto

Fonte: Elaboração dos autores (2019).

Em seguida, pelo mesmo processo, foram produzidas as classes de antropização, divididas em três níveis, a saber: I) Baixa ou nenhuma antropização (vegetação densa); II) Moderada antropização (vegetação rasteira) e; III) Alta antropização (ausência da vegetação).

Vale ressaltar que as características das classes de antropização, inerentes aos níveis de proteção da cobertura vegetal e de seus atributos fisiográficos, apoiaram-se nas concepções de Ribeiro e Walter (2008) e em categorias de uso e cobertura da terra, adotadas pelo IBGE (BRASIL, 2012), como são apresentadas na tabela 2.

Na classificação supervisionada, pelo método da Máxima Verossimilhança (pixel a pixel), foram utilizadas as ferramentas do *Arctoolbox – Spatial Analyst Tools – Multivariate – Create Signatures*. Este método permitiu atribuir às classes de informações mais detalhadas, sobretudo, no âmbito da proteção da cobertura vegetal ao solo. Posteriormente, empregou-se o algoritmo de classificação denominado *Maximum Likelihood Classification*.

Com o uso desse algoritmo obteve-se a correlação das informações entre a área classificada e os pontos do espaço amostral (35 pontos), já que foram obtidas coordenadas georreferenciadas *in situ*, com o uso de um aparelho GPS, as quais foram superpostas ao mapeamento (imagem reclassificada), no intuito de validar as informações geradas.

É importante mencionar que as visitas de campo auxiliaram na checagem dos dados e, principalmente, no processo de validação da imagem, contribuindo para a caracterização dos atributos paisagísticos e fitofisionômicos da área em estudo.



Tabela 2: Caracterização dos níveis de antropização e de seus atributos fisiográficos.

Reclassificação	Classes de antropização	Caracterização dos atributos fisiográficos
1	Baixa ou nenhuma antropização	Áreas referentes às matas ciliares, cerrado denso e reflorestamentos (<i>Eucalyptus</i> sp.), com pouca ou nenhuma antropização, que apresenta vegetação densa, além da vegetação nativa do bioma Cerrado.
2	Moderada antropização	Áreas com vegetação rasteira, campos abertos, talhões agrícolas em períodos de cultivo (agricultura de lavouras mistas observadas na área do município, em geral, formadas por culturas de milho, feijão, arroz, soja), pastagens intensivas, áreas ocupadas com construções rurais ou, ainda, vegetação em estágio inicial e, sobretudo, sucessão ecológica.
3	Alta antropização	Áreas que apresentam solo exposto, com ausência total ou parcial de cobertura vegetal fotossinteticamente ativa. São áreas ocupadas por pastagens, agricultura intensiva ou que foram recentemente desmatadas e/ou que estão sendo preparadas para o plantio, ou seja, com ausência de qualquer vegetação, além de talhões agrícolas pós-colheita, assim como, áreas urbanizadas e com ausência de qualquer tipologia de vegetação adensada, uma vez que se encontram altamente suscetíveis aos processos erosivos.

Fonte: Elaboração dos autores (2019).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao considerar que os processos de análise das alterações na cobertura vegetal, por meio de imagens orbitais, devem avaliar fatores intrínsecos ao instrumento e período de aquisição dos dados, é importante salientar a importância de critérios técnicos para evitar equívocos no mapeamento, sobretudo quando se trabalha com índices de vegetação.

Nesse sentido, a presente pesquisa pautou-se em uma análise criteriosa na obtenção dos dados orbitais, com o intuito de avaliar a cobertura vegetal do município de Regeneração, Estado do Piauí, considerando os anos de 1986, 1996, 2006 e 2016. Optou-se por utilizar cenas que contemplam a mesma resolução espacial e compatibilidade nas características espectrais, radiométricas e, principalmente, temporais, tendo em vista o caráter comparativo entre os anos.

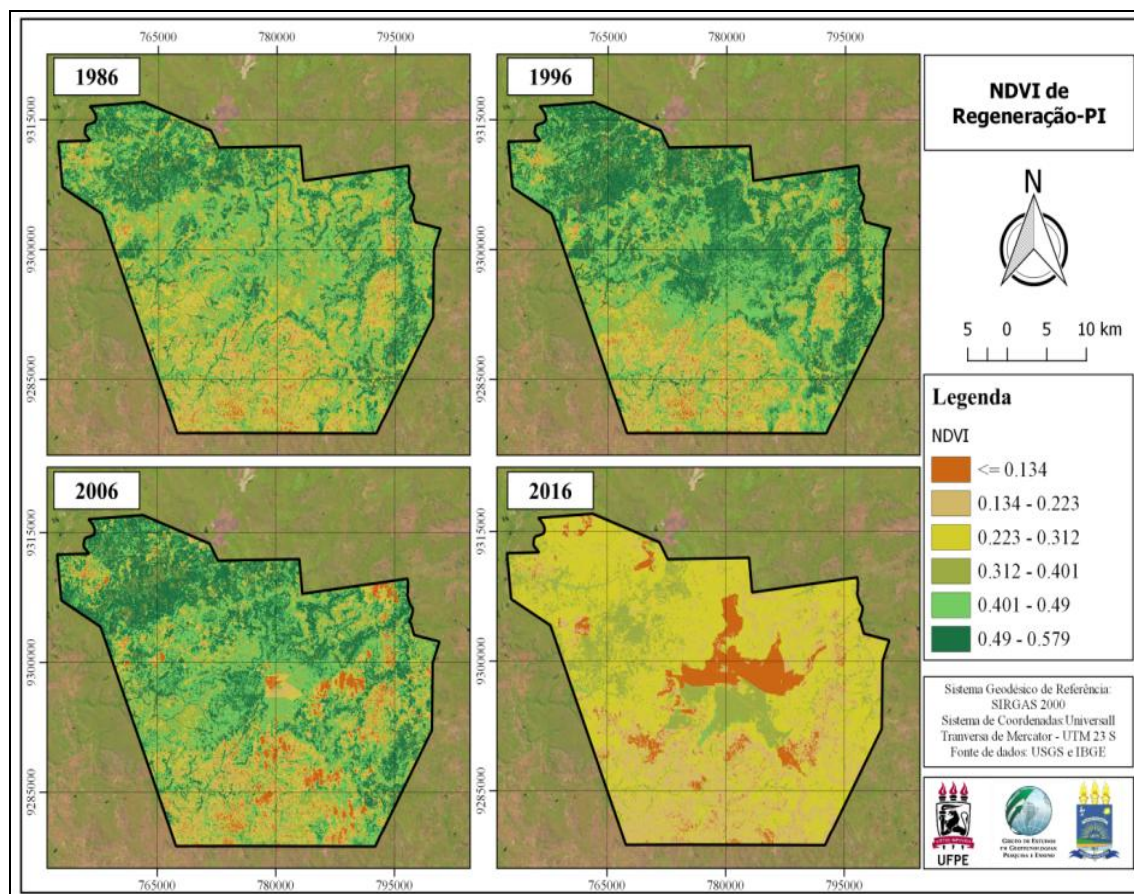
Com a utilização do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) foi possível analisar a cobertura vegetal ao longo da série histórica de 30 anos para o recorte espacial adotado,



uma vez que este índice permitiu avaliar, através do espectro, as características vegetacionais do município de Regeneração/PI, mostrando sua evolução ou perda no decorrer do recorte espacial e temporal.

Na perspectiva de contemplar os objetivos da pesquisa, a figura 3 apresenta a espacialização do NDVI para o município de Regeneração (PI), considerando os anos de 1986, 1996, 2006 e 2016.

Figura 3: Espacialização do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) no município de Regeneração, Estado do Piauí, nos anos de 1986, 1996, 2006 e 2016.



Fonte: Elaboração dos autores (2019).

A espacialização do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada mostra claramente uma considerável variação da cobertura vegetal, demonstrando os padrões de uso da terra entre os anos de 1986 e 2016. Nota-se uma mudança gradativa na paisagem, evidenciando, principalmente, ampliação de áreas agricultáveis, pastoreio e, conseqüentemente, a constatação de uma enorme perda da vegetação nativa, tendo em vista as atividades agropastoris, o sustentáculo para a ocupação do Cerrado.

Para as décadas em análise foi usada a mesma legenda, no intuito de uma melhor comparação dos dados. Como mostram os mapas, é possível observar a escala de cores variando de



laranja a verde, representando os valores mais próximos de zero o menor vigor da vegetação, e os valores mais próximos de 1,0 (hum) indicando maior vigor da vegetação. De forma semelhante, as manchas verdes mais escuras referem-se aos fragmentos vegetais mais densos, em suas distintas fitofisionomias, enquanto as manchas com variações mais claras ou alaranjadas caracterizam coberturas vegetais mais ralas e esparsas, bem como solo exposto e atividades agrícolas intensivas.

A tabela 3 exibe os valores das variações de NDVI, entre os anos de 1986 e 2016, referentes aos níveis de proteção ao solo pela cobertura vegetal. Esses resultados obtidos com o NDVI corroboram a afirmação que de 1986 a 2016 as classes que tiveram os maiores índices foram de muita baixa e solo exposto, e que houve uma significativa redução da cobertura vegetal na área em análise.

Tabela 3: Variação dos valores de NDVI para o município de Regeneração/PI (1986 e 2016).

Classes de Proteção do NDVI	Área (km ²)		Área (%)	
	1986	2016	1986	2016
Alta	24,43	0,01	1,95	0,01
Moderadamente alta	120,02	0,12	9,58	0,02
Moderadamente baixa	184,16	3,78	14,70	0,29
Baixa	266,14	86,93	21,25	6,94
Muito baixa	371,13	464,70	29,63	37,10
Solo exposto	286,54	696,88	22,89	55,64

Fonte: Elaboração dos autores (2019).

É evidente perceber a evolução na classe muito baixa, que passou de 371,13km² em 1986 para 464,70 km² no ano de 2016, materializando numa área espacial que representa 37,10%. Na classe Solo exposto esse aumento foi mais expressivo, progredindo de 286,54km² para 696,88km² no mesmo recorte temporal, totalizando 55,64% da área total do município de Regeneração (PI) no ano de 2016.

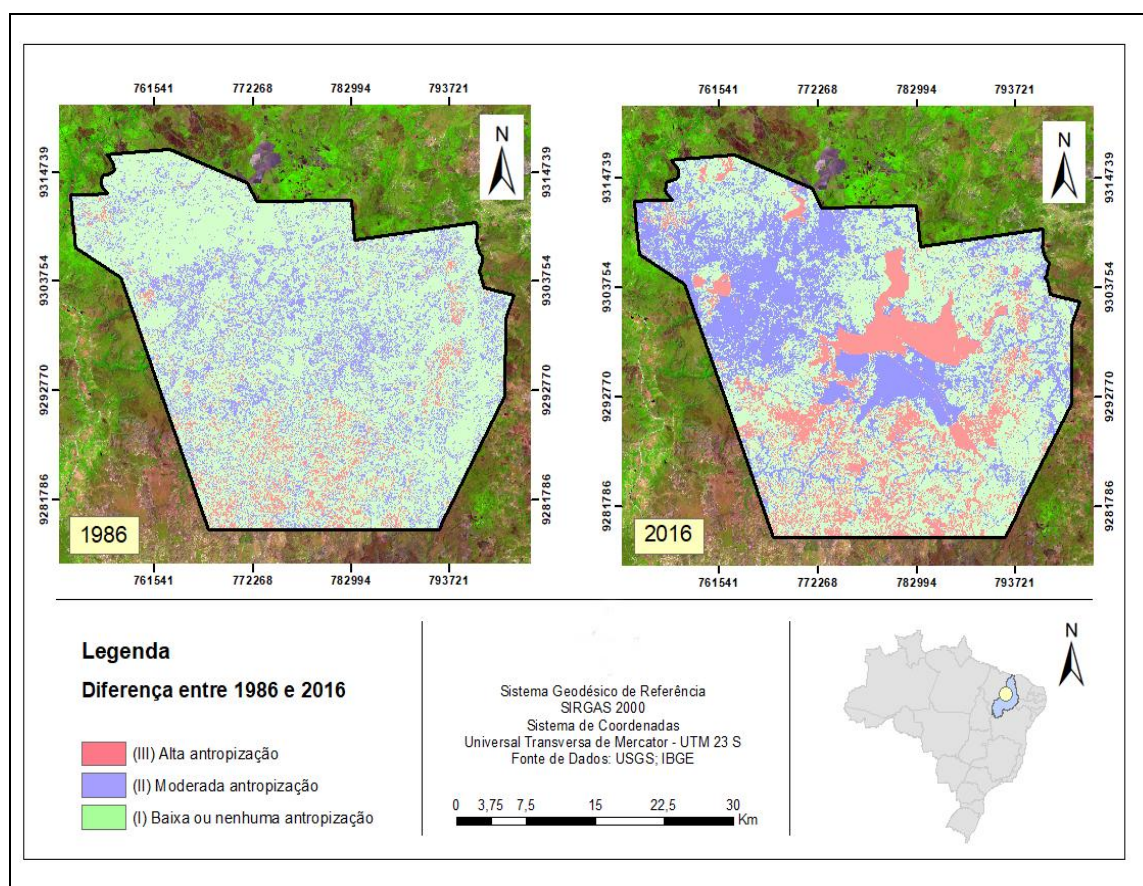
Constata-se assim a transformação no espaço geográfico, sobretudo, na paisagem do cerrado, intensificada pela produção intensiva de grãos, como consequência da exploração do domínio fitogeográfico nativo pelo avanço das atividades agropecuárias. Essa supressão vegetal está diretamente relacionada com a expansão do agronegócio, nesse município, a exemplo da silvicultura do eucalipto a partir do ano 2000, e da soja a partir de 2007, mesmo não compreendendo a área territorial oficial do MATOPIBA, que representa uma nova fronteira agrícola no Brasil.



Nesta perspectiva, Leite e Rosa (2012) reconhecem a importância do conhecimento e monitoramento das formas de uso e cobertura da terra como elemento primordial para a compreensão dos padrões de organização do espaço, uma vez que suas tendências podem ser analisadas, e sua identificação, quando atualizada, é de grande importância para o planejamento, por orientar a ocupação do espaço, respeitando, por sua vez, a capacidade de suporte do ambiente.

A figura 4 exibe a representação cartográfica gerada pelos procedimentos metodológicos e operacionais deste estudo, onde se pode ver as classes de antropização da vegetação, cuja análise espectral e de campo corroborou o avanço das áreas comprovadamente agrícolas em praticamente toda a área municipal.

Figura 4: Classes de antropização da vegetação pelo método de classificação supervisionada para o município de Regeneração/PI.



Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

Vale salientar que as transformações ocorridas na cobertura vegetal deste município são resultantes dos vetores de expansão da pecuária e da produção agrícola por meio do agronegócio, tendo em vista as condições favoráveis do ponto de vista ambiental do Complexo Chapada Grande, com uma forte presença da cultura do eucalipto e da soja nos setores sul e área central de



Regeneração (PI). No intuito de quantificar tais dados, a tabela 4 demonstra o quantitativo da área e suas respectivas classes.

Tabela 4: Quantitativo das áreas por classe de antropização no município de Regeneração/PI.

Classes de antropização	Área (km ²)		Área (%)		Variação (%)
	1986	2016	1986	2016	
Baixa ou nenhuma antropização (I)	524,56	246,32	41,9	19,7	53,04(-)
Moderada antropização (II)	449,36	368,53	35,9	29,4	17,98(-)
Alta antropização (III)	278,50	637,57	22,2	50,9	128,93
Total	1.252,42	1.252,42	100,0	100,0	-

Fonte: Elaboração dos autores (2019).

Com base nos resultados, a classe III (Alta antropização) é característica das áreas com ausência parcial ou total de vegetação, tendo apresentado um aumento de 128,93%, no comparativo entre os anos de 1986 e 2016. A classe II (Moderada antropização) é caracterizada como área com predomínio de vegetação rasteira, que na área de estudo contabilizou uma redução de 17,98%, enquanto na classe I (Baixa ou nenhuma antropização), que indica áreas com maior adensamento vegetal, constatou-se uma redução equivalente a 53,04%. Observou-se, ainda, exclusivamente no ano de 2016, alta expansão agrícola evidenciada pela extensão territorial da classe de antropização III (Alta) que, em 1986, era de 278,50 km², passando para 637,57 km², respectivamente. Diante deste quadro, é importante priorizar e promover atenção maior às áreas classificadas com Alta antropização, já que estas se apresentam mais vulneráveis aos processos erosivos no contexto do município de Regeneração, Estado do Piauí.

A partir das visitas de campo, realizadas na área em estudo, gerou-se uma prancha com o mosaico de associações dos registros fotográficos, com amostras das respectivas classes de antropização, como pode ser visualizado na figura 5.

Percebe-se que o avanço dos sistemas agropecuários sobre as áreas de ecossistemas nativos, tem gerado uma profunda preocupação no campo científico, em função dos impactos ocasionados por estas atividades (SILVA; BACANI, 2017). No entanto, faz-se necessária a criação de meios alternativos para um uso mais adequado e sustentável dos recursos naturais, de modo a compatibilizar o desenvolvimento econômico com a manutenção da qualidade ambiental no município de Regeneração.



Figura 5: Condição, uso e ocupação das áreas conforme levantamento em campo e representação no mapa das classes de antropização, no município de Regeneração/PI.



Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso das técnicas e ferramentas de sensoriamento remoto, em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), mostrou-se eficiente na análise da cobertura vegetal, por meio do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), no município de Regeneração, Estado do Piauí.

A partir da análise temporal (anos de 1986, 1996, 2006 e 2016), foi possível evidenciar mudanças significativas no comportamento da vegetação, sobretudo em associação com os desmatamentos da cobertura vegetal nativa e do uso agropecuário e da expansão das novas fronteiras agrícolas, a exemplo da silvicultura do eucalipto, que deu início a partir dos anos 2000, e do cultivo da soja a partir de 2007.



Do ponto de vista espacial, é notório o predomínio de áreas amplamente descobertas (solo exposto) na zona rural desse município, sobretudo nos setores sul e na área central, decorrentes dos vetores de expansão da pecuária e da produção agrícola por meio do agronegócio.

Diante dos objetivos traçados no estudo, pode-se afirmar que o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) possui uma aplicabilidade fundamental no monitoramento ambiental, por sua utilidade técnica na produção de resultados profícuos no tempo e no espaço. Atrelado ao exposto, menciona-se que a utilização de imagens orbitais em ambiente de geoprocessamento aparece com grande potencial na gestão territorial/ambiental, tendo em vista a geração de dados confiáveis, e que são produzidos sem nenhum custo financeiro adicional.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, E. L. S.; MEDEIROS, C. N. Vulnerabilidade socioambiental em bacias hidrográficas no setor leste metropolitano de Fortaleza, Ceará. **Ateliê Geográfico**, v. 11, n. 1, p. 109-126, 2017.
- BELTRAME, A. V. **Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas**: modelo e aplicação. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1994.
- BRASIL. Serviço Geológico do Brasil. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea, estado do Piauí**: diagnóstico do município de Regeneração. Organização do texto por Robério Bôto de Aguiar e José Roberto de Carvalho Gomes. CPRM - Serviço Geológico do Brasil, Fortaleza, 2004.
- BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades**. 2010. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br>. Acesso em: 19 de Jan de 2018.
- CHANDER, G.; HAQUE, M. O.; MICIJEVIC, E.; BARSÍ, J. A. A. Procedure for radiometric recalibration of Landsat 5 TM Reflectiveband data. **IEEE - Geoscience and Remote Sensing Letters**, v. 48, p. 556-574, 2010
- CRUZ, M. A. S.; SOUZA, A. M. B.; JESUS, J. S. Avaliação da cobertura vegetal por meio dos Índices de Vegetação SR, NDVI, SAVI e EVI na bacia do rio Japarutuba-Mirim em Sergipe. Curitiba. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento. **Anais...** São José dos Campos: INPE, p. 1357-1365, 2011.
- FLORENZANO, T. G. Geotecnologias na geografia aplicada: difusão e acesso. **Revista do Departamento de Geografia**, p. 24-29, 2005.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. 2ª ed. Rio de Janeiro, 2012.
- JACOMINE, Paulo Klinger Tito. **Levantamento exploratório – reconhecimento de solos do estado do Piauí**. Recife: DPP, AgMA/DNPEA, SUDENE/DRN, v. 2, Boletim de pesquisa, n. 36, 1986.



JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente**: uma perspectiva em recursos naturais. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009.

LEITE, E. F.; ROSA, R. Análise do uso, ocupação e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Rio Formiga, Tocantins. **OBSERVATORIUM**: Revista Eletrônica de Geografia, v. 4, n. 12, p. 90-106, 2012.

LOURENÇO, R. W.; LANDIM, P. M. B. Estudo da variabilidade do “índice de vegetação por diferença normalizada/NDVI” utilizando krigagem indicativa. **HOLOS Environment**, v. 4, n. 1, p. 38-55, mai. 2004.

MATIAS, L. F. **Geoprocessamento aplicado à análise das transformações no uso da terra no município de Paulínia- SP**. Campinas: Instituto de Geociências/UNICAMP, 2009.

MELO, E. T. **Diagnóstico físico conservacionista da microbacia hidrográfica do Riacho dos Cavalos – Crateús/CE**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências. Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Fortaleza, 2008.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia**: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de Texto, 2007.

NATH, B. Quantitative assesment of forest cover change of apart of bandarban hill tracts using NDVI techniques. **Journal of Geosciences and Geomatics**, v. 2, n. 1, p. 21-27. 2014.

PARDI LACRUZ, M. S. **Análise de séries temporais de dados MODIS como uma nova técnica para a caracterização de paisagem e análise de lacunas de conservação**. São José dos Campos: INPE, 2006.

PIAUÍ. Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Plano Estadual de Recursos Hídricos – Relatório Síntese**. Teresina/PI: SEMAR, 2010.

PONZONI, F. J; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2010.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (Eds.). **Cerrado**: ecologia e flora. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008.

RODRIGUES, E. L. **Avaliação da cobertura vegetal por meio dos índices de vegetação SR, NDVI, SAVI e EVI na sub-bacia do vale do Rio Itapecerica, alto São Francisco, em Minas Gerais**. Tese (Doutorado). Belo Horizonte: Instituto de Geociências - UFMG, 2012.

SILVA, L. X.; BACANI, V. M. Análise da fragilidade ambiental e das Áreas de Preservação Permanente da Bacia Hidrográfica do Córrego Fundo, município de Aquidauana - MS. **Caderno de Geografia**, v. 27, n. 49, p. 264-284, 2017.

THIAGO, C. R. L; MAGALHÃES, I. A. L; SANTOS, A. R. dos. Utilização de subtração de imagem e NDVI na avaliação da cobertura vegetal do município de Guacuí-ES. São José dos Campos. In: XV Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e XI Encontro Latino Americano de Pós-Graduação, **Anais...** São José dos Campos – SP, 2010.