

USO DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO POR SENSORIAMENTO REMOTO PARA ESTUDOS DA CAATINGA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

RODRIGO JOSÉ DE CARVALHO LOPES^{1*} , ANTONIO MARCOS DOS SANTOS¹ , TOMI ZLATAR² , CLAUDEMIRO DE LIMA JÚNIOR¹ 

¹ Universidade de Pernambuco

² Universidade do Porto – Portugal

* Autor para correspondência: rdg_jose@hotmail.com

Recebido em 04 de novembro de 2019. Aceito em 20 de março de 2020. Publicado em 31 de março de 2020.

RESUMO - A caatinga se destaca pela grande área que ocupa pela biodiversidade. Pesquisas nesse bioma sobre mudanças climáticas, uso e ocupação das terras, biomassa e manejo florestal, dentre outras, são realizadas e o sensoriamento remoto se destaca como uma ferramenta de monitoramento a partir dos índices de vegetação. Esta pesquisa teve como objetivo fazer uma revisão de literatura sobre os estudos realizados na caatinga que utilizam os índices de vegetação a partir do sensoriamento remoto e como são aplicados. A revisão seguiu as diretrizes do “Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis (PRISMA)”. Os artigos selecionados foram indexados nas bases Science Direct, Scopus e Web of Science. As palavras-chave “remote sensing”, “satellite”, “Vegetation Index” e “Caatinga” foram aplicadas na seleção de artigos. Inicialmente, 86 artigos foram encontrados: *Science Direct* ($\Sigma = 29$), *Scopus* ($\Sigma = 54$) e *Web of Science* ($\Sigma = 3$). A combinação das palavras-chave proporcionou 39 artigos que estavam de acordo com os critérios de inclusão. Após a leitura dos resumos, 17 artigos foram meta-analisados. Em geral, o Índice de Vegetação pela Diferença Normalizada é o mais utilizado nos estudos, com os produtos orbitais do Satélite Landsat 5 e estudos relacionados ao tema das mudanças climáticas, enfatizando a necessidade de ações sustentáveis que possibilitem a preservação da caatinga.

PALAVRAS-CHAVE: Produto Orbital; Sensibilidade da Vegetação; Ambientes Secos.

USE OF REMOTE SENSING VEGETATION INDEXES FOR CAATINGA STUDIES: A SYSTEMATIC REVIEW

ABSTRACT - Caatinga stands out for its dimensions and biodiversity. Research in climate change, land use and occupation, biomass and forest management, among others, are carried out and remote sensing stands out as a monitoring tool based on vegetation indexes. This research aimed to review the literature on the studies carried out in Caatinga that use vegetation indexes from remote sensing and how they are applied. The review followed the guidelines of the “Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis (PRISMA)”. The selected articles were indexed in the databases Science Direct, Scopus and Web of Science. The keywords “remote sensing”, “satellite”, “Vegetation Index” and “Caatinga” were applied for article selection. Initially, 86 articles were found: Science Director ($\Sigma = 29$), Scopus ($\Sigma = 54$) and Web of Science ($\Sigma = 3$). The combination of the keywords provided 39 articles that met the inclusion criteria. After reading the abstracts, 17 articles were meta-analyzed. In general, the Normalized Difference Vegetation Index is the most used in the studies, with orbital products of the Landsat Satellite 5 and studies related to the theme of climate change, emphasizing the need for sustainable actions that enable the preservation of Caatinga.

KEYWORDS: Orbital Product; Vegetation Sensitivity; Dry Environments.

USO DE ÍNDICES DE VEGETACIÓN POR TELEDETECCIÓN REMOTA PARA ESTUDIOS DE LA CAATINGA: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA

RESUMEN - La Caatinga se destaca por sus dimensiones y biodiversidad. En este bioma se llevan a cabo investigaciones sobre cambios climáticos, uso y ocupación de las tierras, la biomasa y el manejo forestal, entre otros, así como la teledetección remota se destaca como una herramienta de monitoreo basada en los índices de vegetación. Esta investigación tuvo como objetivo revisar la literatura sobre estudios realizados en la Caatinga que utilizan índices de vegetación de teledetección remota en su metodología y cómo se aplican. La revisión siguió las directrices de los “Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis (PRISMA)”. Los artículos seleccionados fueron indexados en las bases de datos Science Direct, Scopus y Web of Science. Se aplicaron a la selección de artículos las palabras clave “*remote sensing*”, “*satellite*”, “*Vegetation Index*” y “*Caatinga*”. Inicialmente, se encontraron 86 artículos: *Science Direct* ($\Sigma = 29$), *Scopus* ($\Sigma = 54$) y *Web of Science* ($\Sigma = 3$). La combinación de las palabras clave resultó 39 artículos que cumplían los criterios de inclusión. Después de leer los resúmenes, 17 artículos fueron meta-analizados. En general, el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada es el más utilizado en los estudios, con productos orbitales del Satélite Landsat 5 y estudios relacionados con el tema del cambio climático, poniendo de relieve la necesidad de acciones sostenibles que permitan la preservación de la Caatinga.

PALABRAS CLAVE: Producto Orbital; Sensibilidad Vegetal; Ambientes Secos.

INTRODUÇÃO

As áreas de floresta sazonal secas ocupam 42% da vegetação subtropical e tropical do planeta. No Brasil, a vegetação da caatinga está localizada na região Nordeste com clima semiárido, tendo regime pluviométrico em torno de 800 mm ao ano, ocupando 1.548.672 km² do território nacional. Ela está presente nos estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Norte de Minas Gerais, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Piauí e Sergipe (Marangon et al. 2016). A caatinga, oficialmente, é classificada como Savana Estépica (Souza, Artigas e Lima, 2015; Rocha, Esparza e Ferrari, 2018).

A caatinga faz parte dos grupos dos biomas menos protegidos e estudados, apresentando uma grande variedade fisionômica, que vem resultando da elevada variação das condições ambientais, tendo dois principais fatores: o clima e a pedogênese (Souza et al. 2019).

Em estudos mais avançados realizados para identificação da vegetação de caatinga, constatou-se que, na mesma região, se apresentam diferentes tipos de solos e fisionomias, relacionados diretamente com os aspectos ambientais. O fator geomorfológico tem grande influência na estrutura de maior porte da caatinga, em relação àquelas encontradas em solos rasos e lajedos, sendo associada diretamente com a disponibilidade hídrica (Farias et al. 2016).

Mesmo quando comparada com a Floresta Amazônica, a Mata Atlântica e o Cerrado, a biodiversidade das caatingas se destaca (Silva et al. 2018). Entretanto, essa biodiversidade possui uma riqueza que, ainda, não foi explorada cientificamente. Cerca de 41% das áreas das caatingas preservadas possuem, atualmente, apenas 25 campos de monitoramento destinados ao desenvolvimento científico, quantitativo, que é considerado pouco, diante de vários impactos oriundos da expansão da agricultura, segmentação florestal, incêndios e ações ligadas às mudanças climáticas.

Com fortes alterações oriundas do desmatamento, segundo Souza, Artigas e Lima (2015), a Caatinga chega a ser o terceiro bioma mais degradado, depois da Mata Atlântica e do Cerrado. Estima-se que cerca de 80% da vegetação já sofreu alteração por conta da agropecuária e do extrativismo, colocando essas áreas em estágio inicial ou intermediário de sucessão ecológica.

As principais causas da degradação da caatinga, descritas por Figueiredo et al. (2017), ocorrem por conta da pecuária em prol do abastecimento das comunidades humanas. Nessa região semiárida, os níveis de produção

são baixos com o uso de técnicas tradicionais, tornando constantes os riscos de incêndios, de desertificação e, conseqüentemente, de diminuição da fauna e flora. A degradação dos solos ocorre durante os períodos chuvosos, pois, com os solos úmidos, a vegetação começa a se desenvolver e são usados como pastagem. No período seco, os solos encontram-se desprotegidos.

O sensoriamento remoto vem se destacando por possibilitar, a partir de sensores que captam a radiação solar emitida ou refletida pela superfície, medir grandezas físicas que estão associadas, por exemplo, ao crescimento e à avaliação da vegetação (Nonato e Oliveira 2013; Hikishima et al. 2010). Por meio de mapeamentos, que estabelecem cronologias espaciais, é possível gerar modelos de quantificação de biomassa ou detectar anomalias fenológicas presentes na vegetação nativa, permitindo a análise da degradação da vegetação e dos impactos ambientais (Lima Júnior, et al. 2014; Liu et al. 2019).

O sensoriamento remoto se define como tecnologia que permite a obtenção de dados a distância, sem necessidade do contato físico (Formigoni; Xavier e Lima, 2011). Seus estudos conseguiram estabelecer ampla visão da distribuição espacial, temporal e dos padrões de classes que permitirão o estudo dos aspectos do ambiente mais avançados (Pereira et al. 2012).

Atualmente, os recursos disponibilizados pelo sensoriamento remoto multiespectral são diversificados, apresentando baixo custo e ganho significativo na aquisição dos dados obtidos, cronologia das imagens e integração das bases de dados, por meio dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) (Souza et al. 2007). A forma de uso dos dados define o planejamento e a busca de solução, de maneira que, quando processados corretamente, os dados podem ajudar no monitoramento, na fiscalização e no planejamento estratégico de estudos ou trabalhos, para conseguir um ganho real na aplicação (Pereira et al. 2012).

Segundo Fitz (2008), as faixas do vermelha e do infravermelho do espectro eletromagnético possuem propriedades bastante relevantes. A faixa do vermelho permite a diferenciação das espécies de vegetação, de acordo com as propriedades da clorofila, sendo bastante utilizada no mapeamento de áreas agrícolas e urbanas. O infravermelho possui características que permitem a demarcação de corpos d'água, em função da grande absorção de energia.

Como a vegetação reflete energia nesse faixa espectral, é possível criar modelos matemáticos que combinam as bandas associadas ou não a coeficientes de ajustes para o desenvolvimento dos índices de vegetação (IVs), agindo como indicadores de qualidade da vegetação (Kumar et al. 2018), que podem ser relacionados com parâmetros como o índice de área foliar, o cálculo de biomassa e a qualidade das pastagens, com o propósito de analisar anomalias e detectar estruturas da vegetação, tornando-se ponto de partida para estudos sobre a qualidade dos recursos naturais.

Existe uma grande diversidade de trabalhos realizados com os IVs, tendo como base diferentes tipos de satélites e sensores que trabalham as propriedades incluídas nas faixas espectrais do Infravermelho (NIR) e do Vermelho (Red) e com diferentes resoluções espaciais, variando de 1 a 30 metros, como Landsat TM e MSS, NOAA AVHRR, SPOT HRV / XS e Terra MODIS (Silleos et al. 2006). Diante da diversidade de ferramentas disponíveis para o sensoriamento remoto e a capacidade de aplicação dos IVs nos estudos sobre a dinâmica da vegetação, este artigo tem como objetivo investigar, por meio de uma revisão sistemática, o uso dos índices de vegetação no estudo da dinâmica e da degradação da cobertura vegetal no Domínio das Caatingas.

MATERIAL E MÉTODOS

A revisão sobre o tema seguiu as diretrizes dos Itens de Relatório Proferidos para Revisões Sistemáticas e Meta-análises (PRISMA) (Athayde; Mancuzo e Correa, 2017). Os materiais para este estudo foram escolhidos nas bases de dados *Science Direct*, *Scopus* e *Web of Science*. Foram utilizadas 4 palavras-chave em inglês, sendo escolhidas por atribuições e especificações que puderam contemplar este estudo. Inicialmente, foi utilizado o termo “Remote

sensing”, quando foram encontrados todos os produtos gerados com base no sensoriamento remoto; o segundo termo “*Satellite*” excluiu produtos oriundos de radares, drones e demais. O terceiro termo “*Vegetation Index*” selecionou todos os produtos que têm como base somente os índices de vegetação, e o último termo “*Caatinga*”, para abranger todos os produtos selecionados com base em estudos da vegetação nativa do Semiárido e exclusivo do Brasil. Quanto ao período histórico de seleção dos artigos, não houve restrições quanto ao tempo inicial de publicação dos artigos.

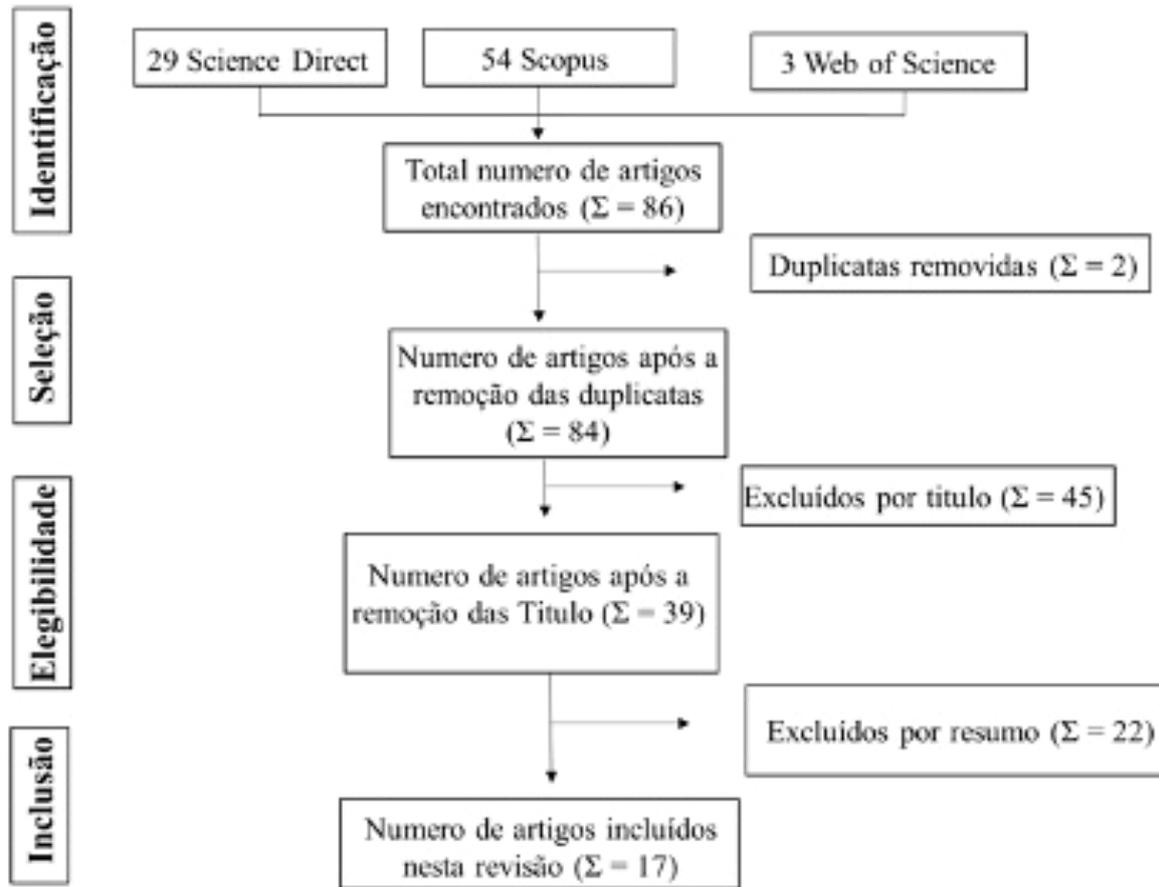
A quantidade de trabalhos na área de sensoriamento remoto é grande e muitos autores utilizam palavras-chave e título direcionados para os resultados ou temas específicos de sua área, dificultando a busca nas bases de dados. É importante uma análise mais aprofundada sobre quais palavras têm maior representatividade em pesquisas realizadas no semiárido. A busca das palavras em inglês foi feita para alcançar materiais publicados internacionalmente e, também, por ser a segunda língua padrão para título, resumo e palavras-chave dos periódicos brasileiros. Assim, foram considerados apenas artigos científicos escritos em Português e Inglês, sendo removidos manuais e livros. Em seguida, foram removidos artigos por título e resumo os quais não abordam os critérios de seleção descritos pelas palavras-chave, publicados até abril de 2019.

Os materiais selecionados foram sintetizados qualitativamente: os “Índices de Vegetação”, que são classificados para desenvolvimento dos trabalhos; os “Satélites” escolhidos para a aquisição dos dados orbitais; os “Temas” mais discutidos em torno dos dados gerados; os “Propósitos” ao quais os autores desejam chegar; os “Dados Comparativos” utilizados para avaliar possíveis constatações, as bases “Estatísticas” para a análise dos dados e as confirmações dos resultados que chegaram até o “Produto final do Estudo”.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Utilizando-se essa estratégia de pesquisa, 86 artigos foram, inicialmente, encontrados nas bases de dados: *Science Direct* (29), *Scopus* (54) e *Web of Science* (3). Foram removidos 2 artigos por duplicidade, 45 artigos que cujos títulos não condiziam com o objetivo da revisão, e 22 artigos após a análise dos resumos. Foram incluídos, na revisão, 17 artigos científicos originais, após leitura de resumos e textos completos, de acordo com as etapas apresentadas na Figura 1.

Figura 1. Fluxograma da seleção dos artigos



O Quadro 1 descreve as características de mapeamento e os propósitos dos estudos selecionados. Dentre os IVs mencionados, o Índice de Vegetação da Diferença Normativa - IVDN (NDVI) foi utilizado em 16 estudos, para obtenção de dados em modelos aplicados ao semiárido, seja como dados de entrada para o modelo “*Surface Energy Balance Algorithms for Land*” - SEBAL ou para cálculo de evapotranspiração e demais informações, que tenha como entrada os dados de índices de vegetação.

Dentre os artigos selecionados, apenas Formigoni, Xavier e Lima (2011) utilizaram, exclusivamente, o Índice de Vegetação Indexado-EVI. Os trabalhos que utilizaram mais de um índice, foram Santos et al. (2017) com o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo IVAS (SAVI) e Silveira et al. (2019) com o Índice de Vegetação Indexado IVE (EVI), Índice Infravermelho da Diferença Normalizada IIDN (NDII-1 e NDII-2) e o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo Otimizado - IVASO (OSAVI). Almeida et al. (2014) utilizaram Razão simples - RS (SR); IVDN (NDVI) e IVAS (SAVI).

Quadro 1. Características do mapeamento e propósito de cada artigo selecionado.

Nº	Autor	Índices Vegetação						Satélite	Temas	Propósito
		IVDN (NDVI)	RS (SR)	IVAS (SAVI)	IVE (EVI)	INDN (NDII-1 e NDII-2)	IVASO (OSAVI)			
1	Tomasella et al. (2018)	x						Satélites Terra e Acqua -MODIS	Desertificação	Medições de Biomassa
2	Almeida et al. (2014)	x	x	x				Landsat 5	Manejo Florestal	
3	FormigoniXavier e Lima (2011)				x			Satélites Terra e Acqua - MODIS		
4	Tian et al. (2017)	x						SatélitesTerra e Acqua -MODIS		
5	Bezerra et al., (2014)	x						Landsat 5	Temperatura de Superfície	
6	Barbosa et al., (2019)	x						EUMETSAT	Monitoramento Pluviométrico	
7	Cunha et al., (2015)	x						Satélites Terra e Acqua -MODIS	Monitoramentos Precipitação	
8	Erasmiet al., (2014)	x						NOAA AVHRR	Mudanças Climáticas	Fenômenos Climáticos
9	Silva et al., (2018)	x						Landsat 5 e 7		
10	Salvatierra et al., (2017)	x						EUMETSAT		
11	Lins et al., (2017)	x						Landsat 8		
12	Muttiet al., (2019)	x						Satélites Terra e Acqua -MODIS	Evapotranspiração	
13	Santos et al., (2017)	x		X				Landsat 5		
14	Schucknecht et al., (2017)	x						NOAA AVHRR	Uso e Cobertura da Terra	Bacias Hidrográficas
15	Silva, Lima e Mendonça (2013)	x						Landsat 5		
16	Silveira, E. et al., (2018)	x						Landsat 5 e 8		
17	Silveira, H. et al., (2019)	x			x	x	x	MSI/ Sentinel-2	Aptidão agrícola	Atributos dos Solos

Por usar apenas duas faixas espectrais, a vermelha e a infravermelha, sem nenhum tipo de fator de correção ou ajuste, que o deixaria mais complexo, o IVDN é fácil de ser calculado. Os Satélites Terra e Acqua disponibilizam em sua plataforma o IVDN já calculado e pronto para o uso, conforme usado por Cunha et al. (2015). Devido a sua ampla divulgação, muitos modelos são desenvolvidos, utilizando-os como dados de entrada, conforme mostrado por Lins et al. (2017).

Conforme apresentado no Quadro 1, o satélite mais utilizado nas pesquisas foi o Landsat 5, em 6 artigos (Almeida et al., 2014; Bezerra et al., 2014; Santos et al., 2017; Silva, Lima e Mendonça 2013; Silva *et al.*, 2018). Dois artigos apresentaram resultados com dois satélites: Silva et al. (2018) apresentaram os seus resultados a partir de imagens do Landsat 5 e Landsat 7 e Silveira et al. (2018), em outro artigo, trabalharam com Landsat 5 e Landsat 8. Lins et al. (2017) utilizaram apenas o Landsat 8. Esses estudos analisaram áreas em período de tempo igual ou maior que 10 anos, para conseguir detectar alterações no comportamento da vegetação.

Em seguida, os satélites Terra e Acqua foram os mais utilizados (Cunha *et al.*, 2015; Tian et al., 2017; Tomasella et al., 2018; Mutti et al., 2019), com destaque para o uso no modelo SEBAL, para aferir variações da evapotranspiração.

Outros satélites utilizados foram o NOAA AVHRR (Erasmi et al. 2014; Schucknecht *et al.*, 2017) e EUMETSAT (Salvatierra et al., 2017; Barbosa et al., 2019), que também foram utilizados para processamento de índices de vegetação, servindo de entrada para os modelos. Somente Silveira *et al.* (2019) utilizaram o satélite MSI/Sentinel-2 que, em comparação com os demais, é bastante recente, com resolução espacial de 10 metros nas faixas espectrais do visível (azul, verde e vermelha) e infravermelho, também disponibilizando as mesmas propriedades das imagens do Landsat 5 e 8.

A principal temática abordada pelos autores selecionados nesta revisão foram Mudanças Climáticas (Erasmi et al. 2014; Cunha et al. 2015; Lins et al. 2017; Salvatierra et al. 2017; Santos *et al.*, 2017; Silva et al. 2018; Barbosa et al. 2019; Mutti et al. 2019), com aprofundamento nas questões da evapotranspiração, fenômenos climáticos e monitoramento pluviométrico, para entendimento e discussão das alterações climáticas e avaliação de cenários futuros.

Em relação aos temas manejo florestal (Tian *et al.*, 2017; Formigoni, Xavier e Lima, 2011; Bezerra et al. 2014; Almeida et al. 2014) e desertificação (Tomasella *et al.*, 2018), os autores relacionam medições de biomassa e temperatura de superfície com o intuito de monitorar e relacionar a degradação, que vem ocorrendo na vegetação da caatinga.

No tema de Uso e Cobertura da Terra, Silva, Lima e Mendonça (2013); Silveira *et al.* (2018), e Schucknecht *et al.* (2017), desenvolveram estudos relacionados com a avaliação de bacias hidrográficas e uso da terra, com o propósito de entender o comportamento da vegetação ou alterações sofridas pela vegetação com o passar do tempo, provenientes das ações humanas ou climáticas. No estudo de Aptidão Agrícola desenvolvido por Silveira *et al.* (2019), os atributos físico-químicos do solo foram relacionados com os IVs, constatando que as causas e os impactos na remoção da vegetação de forma inadequada, para o cultivo das terras, afetam o desenvolvimento dos solos na área de ocorrência da caatinga.

O Quadro 2 mostra alguns aspectos metodológicos utilizados nos artigos selecionados, incluindo os dados comparativos, relacionados com os IVs, a análise estatística realizada e os objetivos. Os artigos selecionados utilizaram dados oriundos de estações meteorológicas (EM). Bezerra *et al.* (2014) realizaram uma estatística descritiva para avaliar a resistência da caatinga, que, com a incidência das chuvas, proporciona o aumento da biomassa, influenciando no porte e desenvolvimento da vegetação. Erasmi *et al.* (2014) também usaram dados de EM e relacionam com os índices de vegetação, realizando teste estatístico de Mann-Kendall, confirmando a existência de uma relação das anomalias climáticas com a vegetação da caatinga, provocando alterações no dossel das plantas

Corroborando os resultados de Bezerra *et al.* (2014) e Erasmi *et al.* (2014), o estudo de Cunha *et al.* (2015) mostra a influência que a precipitação tem na vegetação, correlacionando dados de EM e IVs. Também utilizando

a estatística descritiva em dados de EM, Lins *et al.* (2017) mostram que os parâmetros biofísicos da vegetação são diferentes nos usos e ocupações do solo, onde a vegetação ganha uma estrutura diferenciada de acordo com a profundidade e com os nutrientes do solo. Ao utilizar o teste de ANOVA com dados de EM e IVs, Santos *et al.* (2017) avaliam os padrões espaço-temporais da disponibilidade de água em grandes áreas, inferindo que a má distribuição das chuvas, afeta no desenvolvimento da vegetação.

Quadro 2. Aspectos metodológicos dos artigos selecionados.

Nº	Autor	Dados Comparativos	Análise Estatística	Produto Final do Estudo
1	Almeida et al. (2014)	Delimitação de Parcelas Biomassa	Teste de Correlação e Regressão	Modelos para medições dendométricas da Caatinga
2	Barbosa et al. (2019)	Dados Meteorológicos	SPI (Índice Precipitação Padronizado)	Entendimento dos Impactos da Seca na Caatinga
3	Bezerra et al. (2014)	Dados Meteorológicos	Estatística descritiva (média, mediana, máximo, mínimo, moda, desvio padrão e coeficiente de variação).	Incidência das chuvas, proporciona o aumento da biomassa, influenciando no porte e desenvolvimento da vegetação
4	Cunha et al. 2015	Dados Meteorológicos	Estatística de Correlação	Relação da precipitação com vegetação
5	Erasmí et al. (2014)	Dados Meteorológicos	Teste de Mann-Kendall	Relação das anomalias climáticas com Vegetação Caatinga
6	Formigoni, Xavier e Lima (2011)	Dados Plataforma NASA (Agência Nacional Aeroespacial Norte-americana)	Estatística descritiva (média; o desvio padrão e coeficiente de variação)	O bioma caatinga apresenta a maiores mudanças sazonais em comparação com outros
7	Lins et al. (2017)	Dados Meteorológicos	A estatística descritiva: Mínimo (Mín), Máximo (Máx), Média (M), Mediana (Md), Moda (Mod), Desvio Padrão (DP) e Coeficiente de Variação (CV).	Os parâmetros biofísicos são diferentes usos e ocupações do solo
8	Silva et al. (2018)	Dados Plataforma Climate Prediction Center	Os modelos autoregressivos integrados e média móvel (ARIMA)	Varição teor de clorofila da caatinga por fenômenos climáticos
9	Mutti et al. (2019)	Dados Meteorológicos	O erro quadrático médio (RMSE) e o coeficiente de determinação (R^2)	Vegetação da Caatinga ajuda controle da evotranspiração solo

Nº	Autor	Dados Comparativos	Análise Estatística	Produto Final do Estudo
10	Salvatierra et al. (2017)	Dados Meteorológicos	Modelos lineares	Planejamento de Políticas públicas preservação Caatinga
11	Santos et al. (2017)	Dados Meteorológicos	Estatística ANOVA	Avaliar padrões espaço-temporais na disponibilidade de água em grandes áreas.
12	Schucknecht <i>et al.</i> (2017)	Dados Plataforma Global Precipitation Climatology Center (GPCC; http://gpcc.dwd.de).	Estatística descritiva (a média, desvio padrão, coeficiente de variação) e teste de Mann-Kendall	Avaliação comportamento da Vegetação Caatinga no Nordeste
13	Silva, Lima e Mendonça (2013)	Pontos alteração da cobertura vegetal	Estatística descritiva (a Média, Desvio Padrão e Variância)	Avaliação das alterações da estrutura dossel da vegetação caatinga
14	Silveira <i>et al.</i> (2018)	Pontos alteração da cobertura vegetal	Índice de Kappa	Diferenças fenológicas sazonais na Caatinga
15	Silveira <i>et al.</i> (2019)	Amostragem de Perfil de solo	Teste U	sustentabilidade dos recursos dos solos
16	Tianet <i>et al.</i> , (2017)	Delimitação de Parcelas Biomassa	Teste de Correção	Análise da mudança da estrutura da Vegetação
17	Tomasella <i>et al.</i> (2018)	Pontos alteração da cobertura vegetal	Teste de Correlação	Identificação de áreas degradadas

Barbosa et al. (2019) utilizaram o Índice de Precipitação Padronizado, aplicado aos dados de EM e IVs, obtendo um bom entendimento dos impactos da seca na vegetação da caatinga. Mutti et al. (2019), ao correlacionarem os dados de EM e IVs, utilizando o erro quadrático médio e o coeficiente de determinação, mostram que a vegetação da caatinga ajuda no controle da evapotranspiração do solo. Com base na construção de modelos lineares a partir de dados de EM e IVs, Salvatierra et al. (2017) abordam a necessidade de políticas públicas para a preservação da caatinga. Todos os trabalhos citados até aqui mostram a necessidade da preservação da estrutura da vegetação de caatinga, para assegurar a manutenção dos recursos do ecossistema na região Semiárida do Brasil.

Alguns artigos apresentaram estudos com informações de plataformas que disponibilizam os seus dados. Formigoni, Xavier e Lima (2011) ao realizar uma análise descritiva dos dados da Agência Nacional Aeroespacial Norte-Americana (NASA), inferiram que os domínios das caatingas, em comparação com outros ambientes, apresentam as maiores mudanças sazonais. Essa inferência é corroborada pelo estudo de Schucknecht et al. (2017), quando destacaram a importância da avaliação do comportamento da vegetação de caatinga no Nordeste do Brasil, realizando análises estatísticas, incluindo o teste de Mann-Kendall com dados da plataforma *Global Precipitation Climatology Center (GPCC)*. Silva et al. (2018) ao usarem os dados da GPCC, associados aos IVs na construção de modelos autorregressivos integrados e média móvel (ARIMA), demonstram a variação do teor de clorofila da caatinga por fenômenos climáticos. Ao utilizarem informações físico-químicas de amostras de perfil de solo, Silveira et al. (2019) correlacionaram-nas com os IVs, aplicaram o teste U, e mostraram a necessidade do uso sustentável dos solos, corroborando os resultados descritos por Salvatierra et al. (2017).

Ao correlacionarem os IVs com pontos de alteração da cobertura vegetal (PACV), Tomasella et al. (2018) tornam mais precisa a identificação de áreas degradadas, procedimento semelhante ao realizado por Silveira et al. (2018), que usando PACV e IVs, e o teste Kappa, percebem as diferenças fenológicas sazonais da caatinga, obtendo resultados semelhantes ao trabalho realizado por Formigoni, Xavier e Lima (2011). Tian *et al.* (2017) correlacionam parcelas de biomassa com IVs para analisar as mudanças da estrutura da vegetação. Por fim, correlacionando IVs e parcelas de biomassa, Almeida et al. (2014) geram modelos de regressão para medições dendométricas da vegetação da caatinga.

Quando analisamos os trabalhos dos autores, percebemos que, de forma direta, os estudos que utilizam os índices de vegetação convergem para a preservação dos recursos da caatinga, ressaltando sempre a importância da preservação da vegetação para manutenção desses recursos. Silveira et al. (2019) concluíram que a vegetação influencia e atua na manutenção dos solos; o entendimento de Silva, Lima e Mendonça (2013) é de que a vegetação consegue ampliar a absorção de água das chuvas, diminuindo a degradação do solo; Lins et al. (2017), Muttiet et al. (2019) e Santos et al. (2017) afirmam que a evaporação de água do ambiente é reduzida pela presença da vegetação de caatinga.

Assim, os estudos tentam mostrar, de maneira objetiva, que a retirada da vegetação aumenta a degradação do solo em médio e a logo prazo, causando danos aos recursos naturais, principalmente ao abastecimento hídrico (Barbosa et al., 2019; Cunha et al., 2015), dificultando a convivência do homem com o semiárido. Dessa maneira, Salvatierra et al. (2017) enfatizam a necessidade de Políticas Públicas no trabalho de conscientização da sociedade sobre a importância da preservação dos recursos naturais.

CONCLUSÕES

De acordo com os resultados apresentados, o IVDN é, indiscutivelmente, o índice de vegetação mais utilizado nos estudos desenvolvidos no Bioma Caatinga, sendo predominante em 16 dos 17 artigos selecionados. O tema mais discutido pelos autores é o de Mudanças Climáticas, seguido do Manejo Florestal e Uso e Cobertura das Terras. Os dados meteorológicos são mais aplicados para comparação com os IVs, mas as informações das plataformas on-line também são utilizadas. Os produtos orbitais do Landsat 5 foram mais utilizados nos estudos, seguido pelo MODIS. Além da estatística descritiva, testes de correlação e regressão de modelos lineares são utilizados nas metodologias de estudo, assim como os testes específicos como Kappa e Mann kendel. Os principais produtos gerados nesses estudos foram os modelos para estimativa de biomassa, e a verificação de parâmetros biofísicos que se correlacionam com a vegetação e sua estrutura, como também a identificação de áreas degradadas.

A análise dos temas apresentados nos estudos demonstra que os IVs são capazes de serem utilizados em diversas áreas, no mapeamento do desmatamento ou servindo de base para o entendimento do avanço de outros fatores como, por exemplo, a desertificação. Os índices de vegetação são bastante utilizados nos estudos do bioma Caatinga e sua importância se reflete na diversidade de índices a serem aplicados com diversos sensores e imagens de satélite e em diferentes escalas, permitindo ser comparado com outros tipos de dados para discussão de outras temáticas que, ainda, poderão vir a ser exploradas no Semiárido.

AGRADECIMENTOS

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de mestrado do Programa de Demanda Social recebida pelo primeiro autor.

REFERÊNCIAS

- Almeida AQ, Mello AA, Neto AL, Ferraz RC. 2014. Relações empíricas entre características dendrométricas da Caatinga brasileira e dados TM Landsat 5. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 49(4): 306-315. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2014000400009>
- Barbosa, HA, Kumar TVL, Paredes F, Elliott S, Ayuga JG. 2019. Assessment of Caatinga response to drought using Meteosat-SEVIRI Normalized Difference Vegetation Index (2008–2016). **Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, 148:235–252. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.12.014>
- BEZERRA JM, Moura GBA, Silva BB, Lopes PMO, Silva ÊFF. 2014. Parâmetros biofísicos obtidos por sensoriamento remoto em região semiárida do estado do Rio Grande do Norte, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 18(1): 73–84. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000100010>
- Cunha APM, Alvalá, RC, Nobre CA Carvalho, MA. 2015. Monitoring vegetative drought dynamics in the Brazilian semiarid region. **Agricultural and Forest Meteorology**, 214(215): 494–505. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.09.010>
- Erasmí S, Schucknecht A, Barbosa MP, Matschullat J. 2014. Vegetation Greenness in Northeastern Brazil and Its Relation to ENSO Warm Events. **Remote Sensing**, 6: 3041-3058. <https://doi.org/10.3390/rs6043041>
- Farias SGG, Rodal MJN, Melo AL, Silva MAM, Lima ALA. 2016. Fisionomia e estrutura de vegetação de caatinga em diferentes ambientes em SERRA TALHADA - PERNAMBUCO. **Ciência Florestal**, 26 (2): 435-448. <https://doi.org/10.5902/1980509822745>
- Figueiredo JM, Araújo JM, Lúcio AMFN, Bakke, IA, Bakke OA. 2017. Herb recovery in degraded caatinga sites enriched with native trees. **Ciência Florestal**, Santa Maria, 27(4): 1143-1156. <https://doi.org/10.5902/1980509830292>
- Fitz PR. 2008. **Geoprocessamento sem compilação**. São Paulo: Oficina de Texto. 160 p.
- Formigoni MH, Xavier AC, Lima JSS. 2011. Análise temporal da vegetação na região do nordeste através de dados EVI do MODIS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, 21(1): 1-8. <https://doi.org/10.5902/198050982740>
- Hikishima M, Canteri MG, Godoy CV, Koga LJ, Silva AJ. 2010. Quantificação de danos e relações entre severidade, medidas de refletância e produtividade no patossistema ferrugem asiática da soja. **Tropical Plant Pathology**, 35(2): 096-103. <https://doi.org/10.1590/S1982-56762010000200004>
- Kumar V, Sharma A, Bhardwaj R, Thukral AK. 2018. Comparison of different reflectance indices for vegetation analysis using Landsat-TM data. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**.12: 70–77. <https://doi.org/10.3390/rs71013485>
- Lima Júnior C, Accioly LJO, Giongo V, Lima RLFA, Sampaio EVSB, Menezes RSC. 2014. Estimativa de biomassa lenhosa da caatinga com uso de equações alométricas e índice de vegetação. **Scientia Forestalis**, 42(102): 289-298.
- Lins FAC, Araújo DCS, Silva JLB, Lopes PMO, Oliveira JDA, Silva ATCSG. 2017. Estimativa de parâmetros biofísicos e evapotranspiração real no semiárido pernambuco no utilizando sensoriamento remoto. Edição Especial IRRIGA & INOVAGRI: 64-75. <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2017v1n1p64-75>

- Liu TDJ, Shanga J MBQB, Kovacs JM, Waltersb D, Jiao X, Genga X, Shia Y. 2019. Assessment of red-edge vegetation indices for crop leaf area index estimation. **Remote Sensing of Environment**. 222: 133-143. <http://doi:10.3390/rs11091073>
- Marangon GP, Ferreira RLC, Silva JAA, Schneider PR, Loureiro GH. 2016. Modelagem da distribuição diamétrica de espécies lenhosas da Caatinga, semiárido Pernambucano. **Ciência Florestal**, 26(3): 863-874. <https://doi.org/10.5902/1980509824214>
- MUTTIA, P. R.; SILVA, L. L.; MEDEIROS,S. S.; DUBREUILD, V.; MENDESA,K. R.; MARQUESA,T. V.; LÚCIO, P. S.; SILVA, C. M. S.; BEZERRA, B. G. 2019. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, 75: 29-43. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.10.007>
- Nonato RT, Liveira SM. 2013. Técnicas de mineração de dados para identificação de áreas com cana-de-açúcar em imagens LANDSAT 5. **Engenharia Agrícola**. 33(6): 1268-1280. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162013000600019>
- Pereira AA, Pereira JAA, Morelli F, Barros DA, Acerbi FW, Scolforo JRS. 2012. Validação de focos de calor utilizados no monitoramento orbital de queimadas por meio de imagens TM. **Cerne**, 18(2): 335-343. <https://doi.org/10.1590/S0104-77602012000200019>
- Rocha PA, Esparza JR, Ferrari SF. 2018. Differences in the structure of the bat community between a cloud forester fuge and a surrounding semi-arid Caatinga scrubland in the northeastern Brazil. **Journal of Arid Environments**. 151: 41-48. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2017.11.005>
- Salvatierra LHA, Ladle RJ, Barbosa H, Correia RA, Malhado ACM. 2017. Protected areas buffer the Brazilian semi-arid biome from climate change. **BIOTROPICA**, 49(5): 753-760. <http://doi:10.1111/btp.12459>
- Santos CAG, Silva RM, Silva AM, Neto RMB. 2017. Estimation of evapotranspiration for different land covers in a Brazilian semi-arid region: A case study of the Brígida River basin, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, 74: 54-66. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2017.01.002>
- Schucknecht A, Erasmi S, Niemeyer I, Matschullat J. 2013. Assessing vegetation variability and trends in north-eastern Brazil using AVHRR and MODIS NDVI time series. **European Journal of Remote Sensing**. (46): 40-59. <https://doi.org/10.5721/EuJRS20134603>
- Silleos NG, Alexandridis TK, Gitas IK, Perakis K. 2006. Vegetation Indices: Advances Made in Biomass Estimation and Vegetation Monitoring in the Last 30 Years. **Geocarto International**, 21(4). <https://doi.org/10.1080/10106040608542399>
- Silva CR, Machado SLD, Araújo AA, Abreu Junior CAM. 2018. Analysis of the phenology dynamics of brazilian caatinga species with NDVI time series. **CERNE**, 24(1): 48-58. <https://doi.org/10.1590/01047760201824012487>
- Silva RMP, Lima, JR, Mendonça IFC. 2014. Alteração da cobertura vegetal na Sub-Bacia do Rio Espinharasde 2000 a 2010. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 18(2):202-209. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162012000600013>
- Silva Ubt, Jaramillo Md, Aguiar Lms, Bernarda E. 2018. Species richness, geographic distribution, pressures, and threats to bats in the Caatinga drylands of Brazil. **Biological Conservation**. (221):312 - 322. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.03.028>
- Silveira EMO, Bueno IT, Acerbi-Junior FW, Mello JM, Scolforo JRS, Wulder MA. 2018. Using Spatial Features to Reduce the Impact of Seasonality for Detecting Tropical Forest Changes from Landsat Time Series. **Remote Sensing**, 10(808): 1-21. <https://doi.org/10.3390/rs10060808>

Silveira HLF, Galvão LS, Sanches ID, Sá, IB, Taura TA. 2018. Use of MSI/Sentinel-2 and airborne LiDAR data for mapping vegetation and studying their relationships with soil attributes in the Brazilian semi-arid region. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, 73: 179-190. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.06.016>

Souza BI, Artigas RC, Lima ERV. 2015. Caatinga e Desertificação. **Mercator**, 14(1): 131-150. <https://doi:10.4215/RM2015.1401.0009>

Souza D, Sfair J, Paula A, Barros M, Rito K, Tabarelli M. 2019. Multiple drivers of aboveground biomass in a human-modified landscapes of the Caatinga dry forest. **Forest Ecology And Management**, 435:57-65. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.12.042>

Souza CC, Moreira AA, Schimith RS, Brandão PC, Silva E. 2007. Técnicas de sensoriamento remoto como subsídios aos estudos de florestas implantadas no Brasil - uma revisão bibliográfica. **Ciência Florestal**, 17(4): 409-417. <https://doi.org/10.5902/198050981972>

Tian F, Brandt M, Liu YY, Rasmussen K, Fensholt R. 2017. Mapping gains and losses in woody vegetation across global tropical drylands. **Global Change Biology**, 23: 1748-1760. <https://doi.org/10.1111/gcb.13464>

Tomasella J, Vieira RMSP, Barbosa AA, Rodriguez DA, Santana MO, Sestini MF. 2018. Desertification trends in the Northeast of Brazil over the period 2000-2016. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, 73: 197-206. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.06.012>