



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**ÍNDICES DE VEGETAÇÃO NO MONITORAMENTO ESPAÇO-TEMPORAL DA
COBERTURA DA TERRA NO MUNICÍPIO DE RIACHO DE SANTANA – BA**

THÚLIO VICTOR SILVA ROCHA

Cruz das Almas – BA

2019

THÚLIO VICTOR SILVA ROCHA

**ÍNDICES DE VEGETAÇÃO NO MONITORAMENTO ESPAÇO-TEMPORAL DA
COBERTURA DA TERRA NO MUNICÍPIO DE RIACHO DE SANTANA – BA.**

Monografia apresentada à Universidade Federal do
Recôncavo da Bahia como Trabalho de Conclusão do
Curso de Engenharia Florestal

Orientador: Prof. Ph.D. Everton Luís Poelking

Cruz das Almas – BA

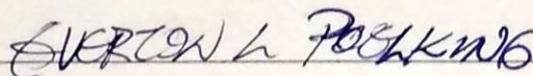
2019

THÚLIO VICTOR SILVA ROCHA

**ÍNDICES DE VEGETAÇÃO NO MONITORAMENTO ESPAÇO-TEMPORAL DA
COBERTURA DA TERRA NO MUNICÍPIO DE RIACHO DE SANTANA – BA.**

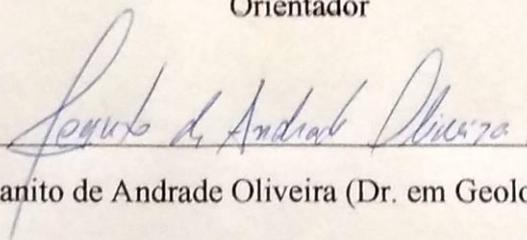
Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Colegiado de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Florestal.

Aprovado em 14/02/2019

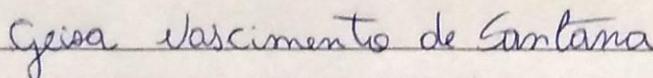


Prof. Everton Luís Poelking (Ph.D. em Produção Vegetal) – UFRB

Orientador



Prof. Joanito de Andrade Oliveira (Dr. em Geologia) – UFRB



Geisa Nascimento de Santana (Ms. Modelagem em ciências da terra e do ambiente)

AGRADECIMENTO

Primeiramente agradeço aos meus pais, Nelma e Valdir por todo apoio dado durante toda a graduação.

As minhas avós pelo apoio e carinho, em especial a Nelcina.

As minhas tias que sempre me ajudaram no que fosse necessário.

Aos amigos: Aldair, Catiúscia, Ítalo, LG, Marcela e em especial a M^a Fernanda.

Aos amigos do patins, afinal diversão também é necessária.

A minha namorada, Caren Neiva.

A todos que me ajudaram direta e indiretamente nesse trabalho.

A minha ex-orientadora Floricéa pelos ensinamentos em mais de três anos de iniciação científica.

Ao orientador professor Everton Poelking por me apoiar nessa empreitada do TCC.

A Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, ao CNPq e a Fapesb pelo apoio técnico, estrutural e financeiro durante toda a graduação.

“[...] carpe diem, quam minimum credula postero.”

Horácio (I a.c.)

SUMÁRIO

RESUMO.....	7
ABSTRACT	8
1 INTRODUÇÃO.....	9
2 REVISÃO DE LITERATURA	11
2.1 Caracterização do bioma caatinga	11
2.2 Comportamento espectral da vegetação.....	13
2.3 Índices de vegetação	14
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	16
3.1 Área de estudo.....	16
3.2 Procedimentos metodológicos	18
3.3 Análises pluviométricas	18
3.4 Processamentos digital de imagem	19
3.4.1 Pré processamento.....	19
3.4.2 Conversão para refletância e correção atmosférica por extração dos pixels escuros	20
3.4.3 Índices de vegetação por diferença normalizada.....	21
3.4.4 Índices de vegetação ajustada ao solo	22
3.5. Elaboração do mapa para análise das mudanças ambientais do município de Riacho de Santana – Ba.	22
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	23
5 CONCLUSÕES	31
6 REFERÊNCIAS	32
7 APÊNDICE	38

RESUMO

Riacho de Santana é um município inserido na região semiárida do estado da Bahia, caracterizado por apresentar vegetação do bioma Caatinga e por estar na bacia hidrográfica do São Francisco. Mudanças na paisagem devido a remoção da vegetação, além de mudanças na precipitação e na periodicidade da mesma devem ser melhor estudadas. Nesse contexto, o presente trabalho tem como finalidade determinar a dinâmica de modificação na cobertura da terra no município de Riacho de Santana dos anos de 1986, 2004 e 2017. Esse processo usou técnicas de Sensoriamento Remoto, direcionadas para o estudo da vegetação. Foram aplicados os índices de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e o índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI), nas imagens de satélite do LandSAT 5, sensor TM e LandSAT 8, sensor OLI. Foi feito a conversão atmosférica TOA, recorte das imagens e cálculo dos índices de vegetação. Para fins de análise foram definidos 4 índices: água, solo exposto, vegetação rasteira e vegetação lenhosa. Os resultados obtidos com os índices (NDVI e SAVI) demonstraram diferenças significativas entre os anos analisados, com destaque para redução do solo exposto e consequente aumento da vegetação rasteira. Os índices indicam uma mudança no padrão de uso da terra e devem ser feitos novos e contínuos monitoramentos para diagnoses mais robustas.

Palavras-chaves: Sensoriamento Remoto, Caatinga, Monitoramento Ambiental.

ABSTRACT

Riacho de Santana is a city located in the semi-arid region of the state of Bahia, characterized by vegetation of the Caatinga biome and being in the São Francisco basin. In this area could be seen intense changes due to the removal of vegetation, besides changes in the average amount of precipitation and the periodicity. In this context, the present work aims to determine the dynamics of land occupation and occupation in the municipality of Riacho de Santana in the years 1986, 2004 and 2017. This process used Remote Sensing techniques, directed to the study of vegetation. The vegetation indexes by normalized difference (NDVI) and the soil adjusted vegetation index (SAVI) were applied in the satellite images of LandSAT 5, TM sensor and LandSAT 8, OLI sensor. Was made TOA atmospheric correction, cropping of images and calculation of vegetation indexes. For the purposes of comparison, four indices was defined: water, exposed soil, undergrowth and woody vegetation. The results obtained with the indices (NDVI and SAVI) showed significant differences between the analyzed years, with emphasis on the reduction of the exposed soil and consequent increase of the undergrowth. These results indicate a change in the pattern of land occupation and new and ongoing monitoring for diagnoses should be made, aiming more robust data.

Key words: Remote Sensing, Caatinga, Environmental Monitoring.

1 INTRODUÇÃO

O bioma caatinga cobre a maior parte da área com clima semiárido da região nordeste do Brasil, segundo a dados do IBGE (2004), essa área é de 844.453 Km², recobrando 9,92% do território nacional, uma área maior que Espanha e Portugal juntos. Esse bioma está inserido em uma região com bastante irregularidade espacial e temporal das chuvas, sendo uma região marcada por anomalias (MARENCO, 2010).

A demanda energética da vegetação da caatinga aliado com a introdução de culturas agrícolas tem ocasionado a remoção da vegetação, resultando na perda de estoque da biomassa vegetal, modificações nas paisagens, perda da diversidade biológica o que faz com que o solo fique descoberto, resultando em processos de desertificação. (FIGUEIROA *et al.*, 2008, LIMA JÚNIOR *et. al.*, 2014).

Freire e Pacheco (2017) identificaram no seu trabalho uma extensa área com significativa devastação em área de Caatinga, com aumento da área de solo exposto, com 22,37% da área analisada com risco de desertificação.

Soares Filho (1998) afirma que análises das alterações na paisagem natural é de suma importância, visto que possibilita estudar o comportamento e os padrões de modificações nos elementos de forma temporal. Porém essas análises por vezes implica em deslocamento físico para as áreas de estudo, o que costuma ser dispendioso, nesse sentido, algumas técnicas de Sensoriamento Remoto (SR) podem tornar-se uma alternativa para estudos do contexto agrícola, social, ambiental e entender a dinâmica temporal para o local desejado (SILVA, OLIVEIRA e NESS, 2012).

Índices de Vegetação (IV), tais como NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), NDWI (*Normalized Difference Water Index*), SAVI (*Soil Adjusted Vegetation Index*), IAF (Índice de Área Foliar) são ferramentas apuradas para o estudo da cobertura vegetal, permitindo avaliar o grau de modificação da paisagem, sobretudo quando se compara em diferentes datas de aquisição das imagens de satélite. A obtenção de parâmetros biofísicos das plantas, como a área foliar, biomassa e a porcentagem de cobertura do solo, com processamento das diferentes bandas do Espectro Eletromagnético (EM), com destaque para o infravermelho, permite obter informações sobre a evapotranspiração das plantas (JENSEN, 2009).

O município de Riacho de Santana localiza-se na região sudoeste da Bahia, está a 720 Km da capital, Salvador. A vegetação predominante é a Caatinga, tendo também uma parte de

Floresta Estacional Decidual, que é uma mistura de espécies da Caatinga com árvores de mata tropical. O município fica localizado numa região cujas condições climáticas não são favoráveis para a produção agrícola e recentemente o município passou por um grave episódio de falta de água. No ano de 2011, uma operação do Ministério Público do Estado da Bahia (MP-BA), Polícia Rodoviária Federal (PRF), Instituto Brasileiro de Meio Ambiente (Ibama) e Secretaria de Segurança Pública, por meio das Polícias Civil e Militar, desarticulou no município, um esquema criminoso de produção e transporte de carvão vegetal, transporte irregular de madeira, e uso de notas fiscais e Documentos de Origem Florestal (DOF) falsos (BRASIL, 2011).

Assim sendo, este trabalho tem como objetivo determinar a dinâmica da cobertura da terra no município de Riacho de Santana – Ba nos anos 1986, 2004 e 2017, a partir de técnicas de Sensoriamento Remoto. Baseadas na avaliação dos Índices de Vegetação, espera-se obter a variação da cobertura do solo e as transformações ocorridas para os anos em estudo de forma a estimá-las, relacionando com as atividades antrópicas e com a mudança no padrão médio das chuvas para o município.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Caracterização do bioma caatinga

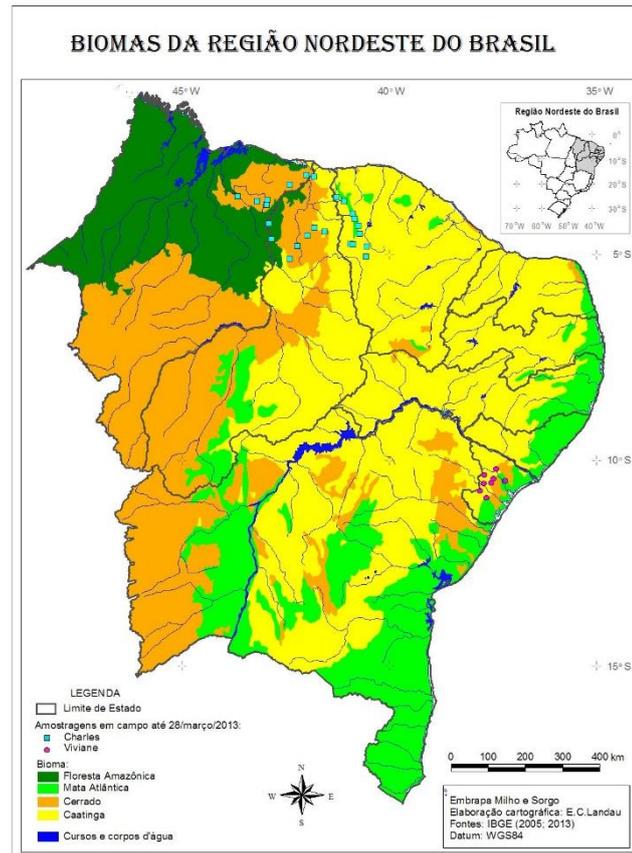
O Bioma Caatinga (Figura 1) possui uma área aproximada de 826.411 km² e se estende pela totalidade do estado do Ceará (100%) e mais de metade da Bahia (54%), da Paraíba (92%), de Pernambuco (83%), do Piauí (63%) e do Rio Grande do Norte (95%), quase metade de Alagoas (48%) e Sergipe (49%), além de pequenas porções de Minas Gerais (2%) e do Maranhão (1%) (IBGE, 2004).

A Caatinga é limitada a leste e a oeste pelas florestas Atlântica e Amazônica, respectivamente, e ao sul pelo Cerrado. A precipitação média anual varia entre 240 mm e 1.500 mm, mas metade da região recebe menos de 750 mm e algumas áreas centrais menos de 500 mm (SAMPAIO, 1995; PRADO, 2003). Grande parte das chuvas na Caatinga (50-70%) estão concentradas em três meses consecutivos, apesar da alta variação anual e dos longos períodos de seca serem frequentes (NIMER, 1972). O bioma é caracterizado também por uma irregularidade de chuvas de ano para ano, resultando em severas secas (KROL *et al.*, 2001; CHIANG e KOUTAVAS, 2004).

Já se acreditou que a caatinga pudesse ser o resultado da degradação de formações vegetais mais exuberantes, como a Mata Atlântica ou a Floresta Amazônica, levando a acreditar que esse bioma seria homogêneo, com biota pobre em espécies e em endemismos, estando pouco alterada ou ameaçada, desde o início da colonização do Brasil, porém estudos recentes apontam a situação inversa: a caatinga como um bioma rico em biodiversidade e extremamente frágil (ALVES, 2007). A origem do termo caatinga vem do tupi-guarani, sendo chamada de “mata branca”, o que caracteriza a paisagem no período de estiagem, quando a vegetação se encontra caduca, ficando com aspecto seco e esbranquiçado (ALVES, 2007).

Lins e Albuquerque (2001) dizem em relação aos solos das regiões de clima semiárido, costumam ser rasos e pedregosos, pois são provenientes de rochas cristalinas, o que dificulta o acúmulo de água devido à sua impermeabilidade conforme a variação do relevo.

Figura 1- Representação dos biomas no nordeste do Brasil.



Fonte: Embrapa Milho e Sorgo

Embora compreendida em uma região de clima semiárido e com fortes influências de agentes físicos, antrópicos e ambientais, a Caatinga é rica em biodiversidade, os fatores ambientais em conjunto com os elementos da paisagem (vegetação, geologia, fauna e o clima) caracterizam este bioma como um sistema equalizado (ALVES, 2007). Neste sentido, o uso de ferramentas como o SR permite acompanhar os processos atuantes nesta paisagem, além de contribuir para conservação e recuperação deste ecossistema (FONSECA, 2017).

Análises da cobertura vegetal, afim de detectar alterações, permite acompanhar os agentes que contribuem para essa modificação, seja devido ao relevo, clima, solo ou por agentes físicos, biológicos ou antrópicos, de tal forma que a paisagem pode ser considerada como reflexo da sociedade que ali predomina, assim o mapeamento das mudanças ocorridas ao longo do tempo torna-se uma alternativa na compreensão das diferentes respostas espectrais que os alvos apresentam quando estão expostos ao ambiente ali existente. (LUNKES e MARTINS, 2009).

2.2 Comportamento espectral da vegetação

O interesse do homem em desenvolver estratégias que lhe permitem adquirir informações e monitorar os recursos da superfície terrestre à distância, sem o contato físico é o que caracteriza o objeto de estudo do Sensoriamento Remoto, utilizando sensores que capturando Radiação Eletromagnética (REM) refletida pelos objetos para obter informações, representando uma importante tecnologia que possibilita o processamento e análise de dados ambientais com maior velocidade e custo relativamente baixo (INNES e KOCH, 1998).

Cada objeto tem uma assinatura espectral única, que diz respeito as interações particulares do objeto com a REM, remetendo a composição química e física de cada objeto e conhecer a assinatura de cada objeto é essencial para que se possa adquirir informações dos alvos. (NOVO, 2010). Toda matéria é constituída de átomos e ao atingir o objeto, a energia eletromagnética é inicialmente absorvida, causando reações nos seus elétrons, os quais ficam em estado de excitação e ao retornarem ao estado original é gerado um quantum, ou fóton, de energia que é registrado pelo sistema sensor, o que permite a geração da imagem (EASTMAN, 1996; AGGARWAL, 2004; NOVO, 2010).

A estrutura foliar é o principal meio de reconhecimento da vegetação via SR, devido aos processos de processos de refletância e do comportamento espectral, onde se identifica as condições das estruturas vegetais, essa resposta depende da composição química, morfológica e da estrutura interna das plantas (STEFEN, 1996). As informações ainda podem sofrer interferência no processo de aquisição, por meio da geometria de aquisição, características do sensor, os parâmetros atmosféricos e os relativos ao alvo (MORAES, 2002); podendo se utilizar técnicas de correção atmosférica para minimizar esses efeitos.

Com a resposta da vegetação é possível entender os aspectos da cobertura vegetal, mediante os diferentes agentes, processos de degradação, estresse hídrico, ataque de pragas, nutrição, a redução ou mesmo a intensidade da vegetação (ABREU e COUTINHO, 2014). Na análise da vegetação, levados em consideração a absorção, transmissão e reflexão da REM, essa resposta será diretamente ligada aos fatores químicos (pigmentos, fotossíntese e água) e a estrutura (tecidos), diversas informações adquiridas compõe o Comportamento Espectral da Vegetação (CEV) (PONZONI e SHIMABUKURO, 2007).

O entendimento do CEV pode ser uma boa alternativa para inferir ocorrências de supressão da vegetação ou mesmo se houve algum raleamento. Para as análises, algumas regiões da REM são mais utilizadas, sendo a região do vermelho (V) e do infravermelho

próximo (IVP), isso devido às diferentes respostas espectrais obtidas nessas faixas, sendo que o sensor TM do LandSAT 5 tem espectro vermelho variando de 0,630 a 0,690 μm e o infravermelho próximo de 0,760 a 0,900 μm , enquanto o sensor OLI do LandSAT 8 tem o espectro vermelho indo de 0,640 a 0,670 μm e o infravermelho próximo de 0,850 a 0,880 μm . É principalmente na região do vermelho que as folhas vivas adsorvem energia do sol para processos fotossintéticos e esse fenômeno gera imagens mais escuras, com valores de pixels com taxas mais próximos a zero, quanto mais energia as plantas absorverem. Considerando a região do infravermelho, os vegetais tendem a refletir essa faixa de REM, gerando imagens mais claras. (PONZONI e SHIMABUKURO, 2007).

2.3 Índices de vegetação

Combinações de bandas de uma mesma imagem multiespectral podem ser feitas afim de gerar imagens que indiquem comportamentos distintos dentre a própria vegetação e entre os diversos elementos que compõe a paisagem. Essas combinações geram Índices, dentre eles o mais utilizado é o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* - NDVI). Nesse índice a resposta da vegetação mostra maiores refletâncias quanto mais densa e fotossinteticamente ativa for, de forma inversa, locais desprovidos de vegetação, corpos d'água e construções civis terão menores valores, de forma intermediária ficam as áreas relativamente vegetadas (PONZONI e SHIMABUKURO, 2007; KARIYEVA e VAN LEEUWEN, 2011).

Índices de vegetação têm sido extensamente utilizados como sensíveis indicadores da presença e condição de vegetação. Estes índices baseiam-se em combinações lineares, razões ou transformações ortogonais de várias bandas espectrais. Assim, reduz-se todos os dados espectrais a um único valor, realçando a contribuição espectral da vegetação verde minimizando a do solo, a do ângulo solar, a da vegetação senescente e a da atmosfera (ALMEIDA e FONTANA, 2009, p. 18).

De acordo com Jensen (2009), a região do vermelho absorve uma quantidade de energia radiante maior, mas com uma baixa refletância devido à sua importância para os processos de fotossíntese, por sua vez, para o infravermelho próximo tem pouca absorção do fluxo radiante, mas um aumento na refletância da energia solar incidente devido à presença das estruturas vegetais e da morfologia interna das folhas.

Algumas correções são importantes para que a influência dos fatores externos e internos não prejudiquem as análises, assim a interferência atmosférica e outros agentes são normalizados e atinge-se as condições mais reais possíveis (HUET e JUSTICE, 1999).

Segundo Pinheiro (2003), a qualidade da imagem gerada pode variar em função da junção de um conjunto de fatores e variáveis, pode-se citar, majoritariamente a frequência de onda adotada, as propriedades físicas, químicas e biológicas dos alvos, as condições de iluminação, a cobertura de nuvens, presença e aerossóis e a inclinação do sensor. Baptista (2001) demonstrou em seu trabalho, uma diferença entre imagens corrigidas e não corrigidas para os efeitos atmosféricos, da ordem de 2%, indicando a necessidade de correções do tipo.

Barbosa (2006) indica que a obtenção dos resultados do monitoramento da cobertura vegetal ocorre devido as diferentes refletâncias da clorofila em determinados comprimentos de onda nas distintas regiões da REM visível e infravermelho próximo. Como indica Feitosa (2006), existem mais de cinquenta índices de vegetação, todos eles utilizam de alguma forma as relações entre a faixa vermelha e infravermelha da REM.

Segundo Silva (2004), o NDVI, considerando a razão em seu cálculo, acaba tendo a diminuição dos ruídos multiplicativos como iluminação, sombra de nuvens, fatores atmosféricos, entre outros.

O NDVI apresenta como resultado uma imagem espectral cujos valores de máximo e mínimo variam em torno de 1 a -1, respectivamente. Os valores próximos ao máximo indicam regiões com presença de vegetação; valores próximos a -1, representam a ausência de vegetação, isso é, mostram a presença de corpos hídricos, solo exposto, construções civis e outras classes.

Wang et. Al. (2005) diz que apesar do NDVI ser aplicado a diversos estudos e monitoramento da cobertura vegetal, o índice apresenta algumas desvantagens, como a sensibilidade desse IV às variações do substrato do dossel e às influências dos ruídos devido a sua razão não linear. Oliveira, Jarenkov e Rodal (2007) descrevem alguns IV híbridos, como índices de vegetação transformado para solos (TSAVI), índice de vegetação ajustado para solo modificado (MSAVI), índice de vegetação perpendicular (PVI) e o índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI). Estes índices atuam na redução dos efeitos ruidosos, pois consideram o uso da razão e minimizam o efeito do brilho do solo em regiões cuja vegetação é considerada esparsa, estando baseada no conceito da linha do solo.

Uma linha de solo é uma equação linear que descreve o relacionamento entre valores de refletância na banda vermelha e infravermelha para pixels de solo exposto. Essa linha é produzida realizando-se uma regressão linear simples entre as duas bandas, em uma amostra de pixels de solo exposto. Uma vez conhecido o relacionamento, todos os pixels desconhecidos em uma imagem que possuem a mesma relação nos valores de refletância no vermelho e infravermelho são assumidos como solo exposto (MARCUSSE *et. al.*, 2010).

De acordo Huete e Liu (1994), o fator de ajuste varia entre 0 e 1, o valor 0 faz com que o SAVI se iguale o NDVI, o valor 1 indica que a vegetação tem alta densidade, valores iguais a 0,5 indicam média densidade e valores próximos a 0,1 indicam baixa densidade da vegetação; quando considerado o valor 0,5, este fator irá atuar na redução do brilho do solo e na necessidade de se realizar a calibração considerando diferentes solos.

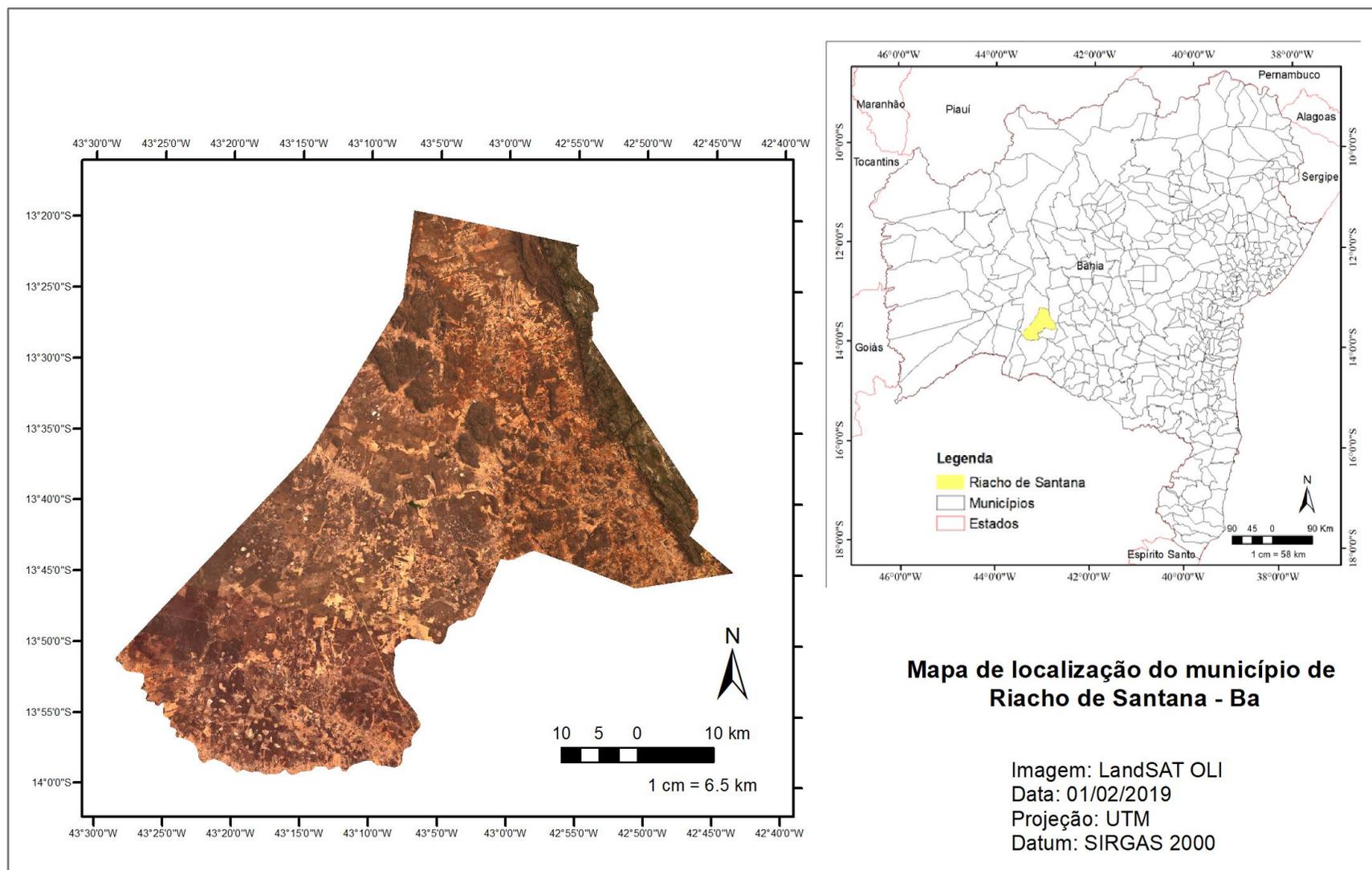
Durante o estudo da cobertura vegetal, deve haver pleno entendimento das formas de resposta espectral da vegetação, pois essas respostas determinam ocorrências de supressão, diferenças no quantitativo da cobertura vegetal ou mesmo mudanças na sua intensidade. Com a posse dessas informações é possível mapear as regiões de cobertura vegetal, assim como explorar e extrair informações pertinentes para análises ambientais.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

O município de Riacho de Santana localiza-se na região Sudoeste da Bahia (Figura 2), na Microrregião de Guanambi e na Mesorregião do Centro-Sul Baiano. Está a 720 Km de Salvador, capital da Bahia. Limita-se com os municípios de Macaúbas, Palmas de Monte Alto, Bom Jesus da Lapa, com Igaporã e Matina. Está a 627 metros acima do nível do mar na zona urbana, mas chega a 1200 metros de altitude na região da Serra Geral (IBGE, 2016). Possui uma área 2.698 km², uma população estimada em 35.240 habitantes e uma densidade demográfica de 11,3 hab./km² (IBGE, 2018).

Figura 2 – Mapa de localização do município de Riacho de Santana.



Fonte - Elaborado pelo autor.

A vegetação predominante é a Caatinga, tendo também uma parte de Floresta Estacional Decidual, que é uma mistura de espécies da caatinga com árvores de mata tropical. O clima característico é o semiárido, variando de subúmido a seco e de acordo a classificação de Köppen (As), Tropical com verão seco (ALVARES *et. al.* 2013). Possui elevadas temperaturas durante o ano todo, entre os meses de junho e agosto são registradas as menores temperaturas, com dias quentes, passando dos 30 °C e madrugadas frias com média de 15 °C . O período de chuva está compreendido entre os meses de outubro a março. A cidade está localizada na bacia hidrográfica do São Francisco, e está em três sub-bacias hidrográficas diferentes, a Calha do São Francisco, Carnaíba de Dentro e Santo Onofre. Os principais tipos de solo encontrados no município são Latossolo Vermelho eutrófico, Argissolo Vermelho Amarelo eutrófico, Argissolo Vermelho Amarelo distrófico, Neossolo Litólico eutrófico, Latossolo Vermelho Amarelo álico e Planossolo Solódico (IBGE, 2016).

3.2 Procedimentos metodológicos

A aquisição das imagens trabalhadas nesse estudo foi feita no site da *United States Geological Survey* (USGS, 2019). A escolha foi baseada nas datas de término do período chuvoso do município de Riacho de Santana. Os dados de pluviosidade foram obtidos da Agência Nacional de Águas (ANA), órgão que compilou estações meteorológicas da Secretaria Estadual de Meio Ambiente da Bahia (SEMA) e da Empresa Baiana de Água e Saneamento (EMBASA). Os dados referentes à situação fisiográfica da região de estudo foram adquiridos em consulta ao site do Instituto Brasileiro de Meio Ambiente (IBAMA), no qual mapeou a ocorrência do bioma Caatinga mediante Projeto de Monitoramento e Desmatamento dos Biomas Brasileiros por Satélite (PMDBBS).

3.3 Análises pluviométricas

A época escolhida para o estudo corresponde o final do período de chuvas do município de Riacho de Santana devido as diferentes respostas espectrais que a vegetação da Caatinga apresenta na ausência ou presença de água, características fisiológicas para a adaptação à falta d'água comuns a ambientes com restrições hídricas. Foram selecionados os períodos entre os meses de maio a setembro (Figura 4). Os dados pluviométricos foram adquiridos no intervalo do ano de 1933 a 2018 (Tabela 1), houve uma interrupção das medições do ano de 1995 a 2003,

assim como dados que não continham chuvas dos doze meses do ano foram descartados. A partir desses dados foi normalizada a precipitação com base na média, fazendo-se a subtração da média anual com a média geral. A figura 5 mostra o quanto a pluviosidade varia em relação a média (Figura 5). Para os anos 1986 e 2004 havia somente uma única estação meteorológica com os dados de todos os meses do ano. Para 2017 haviam duas estações, nesse caso foi feita uma média simples da pluviosidade.

Tabela 1 – Relação das estações utilizadas para obtenção de informações pluviométricas.

Código	Início da medição	Fim da medição	Latitude	Longitude	Nome
1342001	1933	1990	S 13° 36' 0.00"	W 42° 56' 0.00"	RIACHO DE SANTANA
1343000	1952	1963	S 13° 58' 0.12"	W 43° 10' 0.12"	CAMPINHOS
1343011	1964	1972	S 13° 55' 0.12"	W 43° 25' 0.12"	URTIGAS
1343010	1964	1989	S 13° 39' 0.00"	W 43° 11' 0.00"	FAZENDA TABUINHA
*1342002	1964	1995	S 13° 54' 42.12"	W 42° 50' 47.04"	MATINA (MATOS)
1343024	1971	1991	S 13° 57' 38.88"	W 43° 8' 29.04"	CAMPINAS
1343025	2003	2018	S 13° 59' 3.84"	W 43° 17' 49.92"	URTIGA
1342025	2005	2018	S 13° 35' 44.16"	W 42° 56' 26.16"	RIACHO DE SANTANA

Fonte – Elaborado pelo autor.

* A estação 1342002 esteve localizada em Matina, que fez parte do município de Riacho de Santana até 1994.

3.4 Processamentos digital de imagem

O Processamento Digital de Imagens é a manipulação numérica de imagens digitais por computador, de modo que a entrada e a saída sejam imagens, no qual é melhorado o aspecto visual de certas feições, a partir do comportamento do número digital (ND), correspondente a radiância dos pixels de cada objeto ou alvo, gerando, assim, produtos que possam ser posteriormente submetidos a outros processamentos (ALMEIDA, 2013).

São apresentados aqui os procedimentos de tratamento e extração e compilação de informações das imagens de satélite utilizados nesse trabalho.

3.4.1 Pré processamento

Foram utilizadas imagens de satélite obtidas no site de serviço geológico americano. Para cada ano analisado foram utilizadas duas imagens que juntas, recobriam o município,

utilizando no total 6 imagens de satélite, 4 delas do LandSAT 5, sensor TM (*Thematic Mapping*) para 1996 e 2004, e as 2 restantes do satélite LandSAT 8, sensor OLI (*Operational Land Imager*) para o ano de 2017 (Tabela 2). As imagens foram obtidas em cenas sem a presença de nuvens (Apêndice).

Tabela 02: Data da captura e informação de precipitação das imagens.

ANOS	DATAS	PRECIPITAÇÃO EM ATÉ 15 DIAS	PRECIPITAÇÃO EM 45 DIAS
1986	16/07/1986	0	0
2004	16/08/2004	0	0
2017	17/06/2017	0	0

Fonte – Elaborado pelo autor.

As imagens foram trabalhadas no software QGIS (versão 3.4 Madeira), e a partir do limite de municípios da Secretaria de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia (SEI), foi selecionado o vetor do município na extensão *shapefile* (.shp). Os arquivos foram inseridos no software e a área de sobreposição das camadas foi recortado determinando-se o município de Riacho de Santana.

Para aplicabilidade dos NDVI e SAVI, foram utilizadas as bandas espectrais 4 e 3 para as imagens dos satélites LandSAT 5, sensor TM e bandas 5 e 4 para o LandSAT 8, sensor OLI, estas bandas são do intervalo da REM que representam a faixa do vermelho e infravermelho próximo.

3.4.2 Conversão para refletância e correção atmosférica por extração dos pixels escuros

A primeira etapa do processamento foi converter os valores dos números digitais (DN – *Digital Numbers*) em refletância no Topo da Atmosfera (TOA – *Top Of Atmosphere*), a fim de reduzir a variabilidade entre cenas através de uma normalização para a irradiação solar. A utilização da refletância de TOA remove o efeito cosseno do ângulo solar zenital devido a diferença de tempo entre a aquisição das imagens, assim como corrige as variações da distância Terra-Sol e compensa os diferentes valores de irradiância estratosférica em cada banda espectral (CHANDER, MARKHAM e HELDER, 2009). O cálculo para conversão foi aplicado a cena inteira e usou a equação 1 (NASA, 2011) com os parâmetros fornecidos em um arquivo de metadados juntamente com as imagens de satélite.

$$TOA = (\pi * L\lambda * d^2) / (ESUN\lambda * \cos\theta_s) \quad (1)$$

Em que:

$L\lambda$ = Irradiância espectral na abertura do sensor (radiância por satélite);

d = Distância Terra-Sol em unidades astronômicas;

$ESUN\lambda$ = Irradiâncias exo-atmosféricas médias

θ_s = Ângulo do zênite solar em graus.

A correção atmosférica foi realizada afim de minimizar o efeito de dispersão da energia eletromagnética nas partículas de água suspensas na atmosfera, possibilitando que os alvos estáticos sejam interpretados da mesma forma, mesmo em cenas diferentes. O efeito mais importante é o do espalhamento atmosférico que causa adição de valores à resposta original. A correção atmosférica foi executada nas bandas dos satélites LandsAT 5 e 8 em todas as cenas de cada ano em estudo. O processo empregado foi a Subtração de Pixel Escuro (*Dark Object Subtraction* - DOS1). O uso deste método está baseado na ideia de que uma determinada imagem possui pixels com radiância muito abaixo da sensibilidade de detecção do sensor, gerados a partir da presença de sombras formadas pela topografia e pelas nuvens.

Tanto a conversão quanto a correção foram feitas utilizando um complemento para o QGIS, chamado de “*Semi-Automatic Classification Plugin*” (CONGEDO LUCA, 2016).

3.4.3 Índices de vegetação por diferença normalizada

O NDVI considera a diferença e a soma entre as duas bandas do infravermelho próximo e do vermelho, de acordo a equação 2.

$$NDVI = \frac{(IVP-V)}{(IVP+V)} \quad (2)$$

Em que:

IVP = faixa do infravermelho próximo;

V = faixa do vermelho.

Foi gerado o NDVI referente os anos de 1986, 2003 e 2017 no software QGIS, usando a função “calculadora raster”.

3.4.4 Índices de vegetação ajustada ao solo

O SAVI, proposto por Huete (1988), foi aplicado nas imagens de satélite LandSAT 5, sensor TM e LandSAT 8, sensor OLI, e tem o propósito de amenizar o efeito do solo. Jensen (2009) cita a aplicação de um fator de ajuste (L) que atua na correção das influências do solo e das condições atmosféricas, os valores da constante L são: 1 para densidade baixa de vegetação, 0,5 para densidade média e 0,25 para densidades altas. O fator de ajuste aqui considerado foi igual a 0,5 (FONSECA, 2017; HUETE, 1994).

$$SAVI = \frac{(IVP-V)}{(L+IVP+V)} (1 + L) \quad (3)$$

Em que:

IVP = faixa do infravermelho próximo;

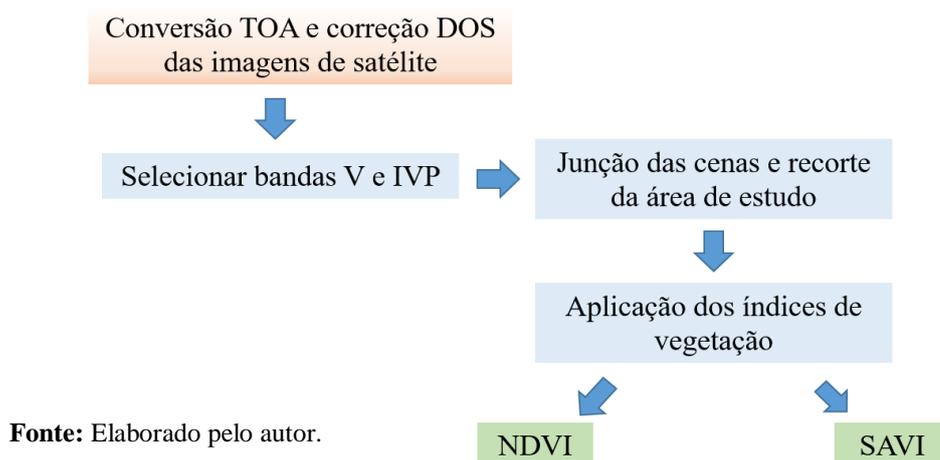
V = faixa do infravermelho.

L = Fator de ajuste do SAVI

3.5. Elaboração do mapa para análise das mudanças ambientais do município de Riacho de Santana – Ba.

Para possibilitar a compreensão dos resultados fornecidos pelos índices NDVI e SAVI foram elaborados mapas temáticos que permitiram analisar a dinâmica e as modificações do bioma durante os anos de estudo. A figura a seguir mostra os procedimentos para confecção dos mapas temáticos

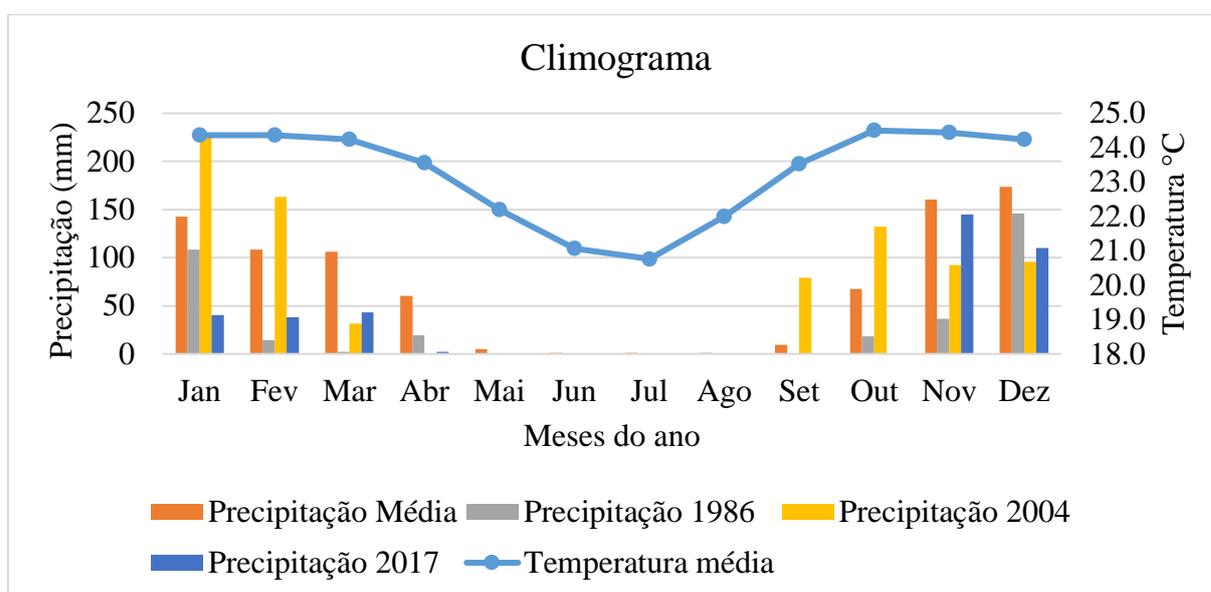
Figura 03: Fluxograma de trabalho para obtenção de imagem do índice de vegetação.



4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com os dados de precipitação chegou se a uma média de 807,6 mm por ano, média próxima à encontrada por Braga (2003) de 873 mm/ano, ao fazer análise da precipitação para o Vale do São Francisco Sul na Bahia. Nos anos analisados a precipitação foi de: 483,6 mm para 1986, 726,4 mm em 2004 e de 627,85 para 2017. Na figura 4 é possível verificar que as chuvas são concentradas nos meses de outubro a março, com os meses de maio a agosto sem precipitações significativas, os meses de maior precipitação coincidem com as ocorrências de maiores temperaturas. A precipitação concentrada nos meses de outubro a janeiro meses foi verificada também para outros estados do nordeste com clima semi-árido, devido a atuação do sistema de brisas e os ventos alísios (KOUSKY, 1980; BRAGA *et al* 2003).

Figura 4 - Climograma para Riacho de Santana.

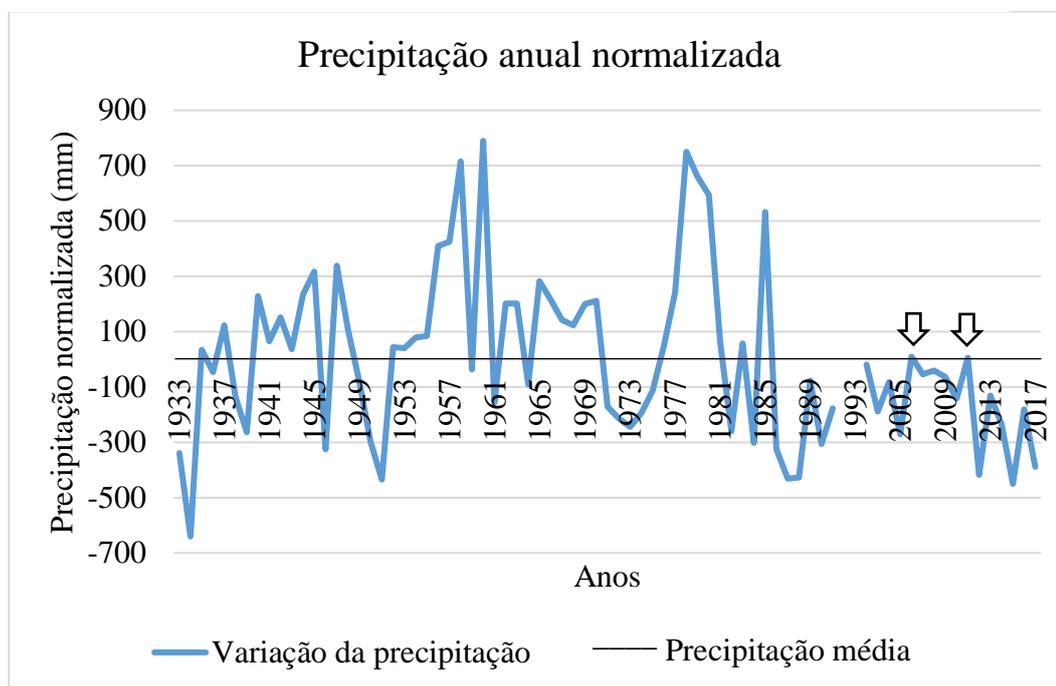


Fonte: Elaborado pelo autor.

As precipitações médias anuais normalizadas estão representadas pela figura 5 e mostram a variação da precipitação com relação à média, é possível ver uma tendência de diminuição da precipitação a partir da década de 1990, no qual somente nos anos de 2007 e 2011 (destacados pelas setas na figura 5) a precipitação atingiu a média histórica. Estudos de precipitação feitos por Valério e Frago Junior (2015) mostrou a tendência de diminuição da precipitação para a bacia hidrográfica do Paraguaçu, cujas precipitações médias variaram de 639,6 a 791,74 mm/ano, a mesma tendência foi verificada por Gens, Silva e Tanajura (2012). Reboita *et al.* (2010), ao fazer a revisão bibliográfica do regime de precipitação na América do Sul, descreveu totais pluviométricos variando de 200 a 500 mm/ano, com o verão/outono

chuvoso e inverso seco para a região semi-árida no Nordeste. A falta de informações pluviométricas dos anos de 1992 a 2002 impediu a maior precisão na demonstração da diminuição das chuvas.

Figura 5 – Variação da precipitação anual normalizada com base na chuva média anual.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após a aplicação dos índices para as imagens de satélite, foram definidas 4 classes de alvos a serem analisados: 1 - corpos d'água, 2 - solo exposto, 3 - vegetação rasteira e 4 - vegetação lenhosa, o intervalo de cada classe seguiu parâmetros de validação (apêndice) e também trabalhos semelhantes como Fonseca (2017), Kazmierczak (1996), que descreveram os valores de NDVI e SAVI por classes para épocas secas na Caatinga.

Analisando os resultados obtidos com o índice NDVI (Figura 6), é notável que todas as classes apresentaram modificações ao longo do tempo. A mudança mais notável foi na classe 2 que retrata o solo exposto, a maior área foi verificada no ano de 2004, enquanto em 2017 há uma menor porção da área. A classe 1 que representa corpos hídricos e teve maior presença no ano de 2017.

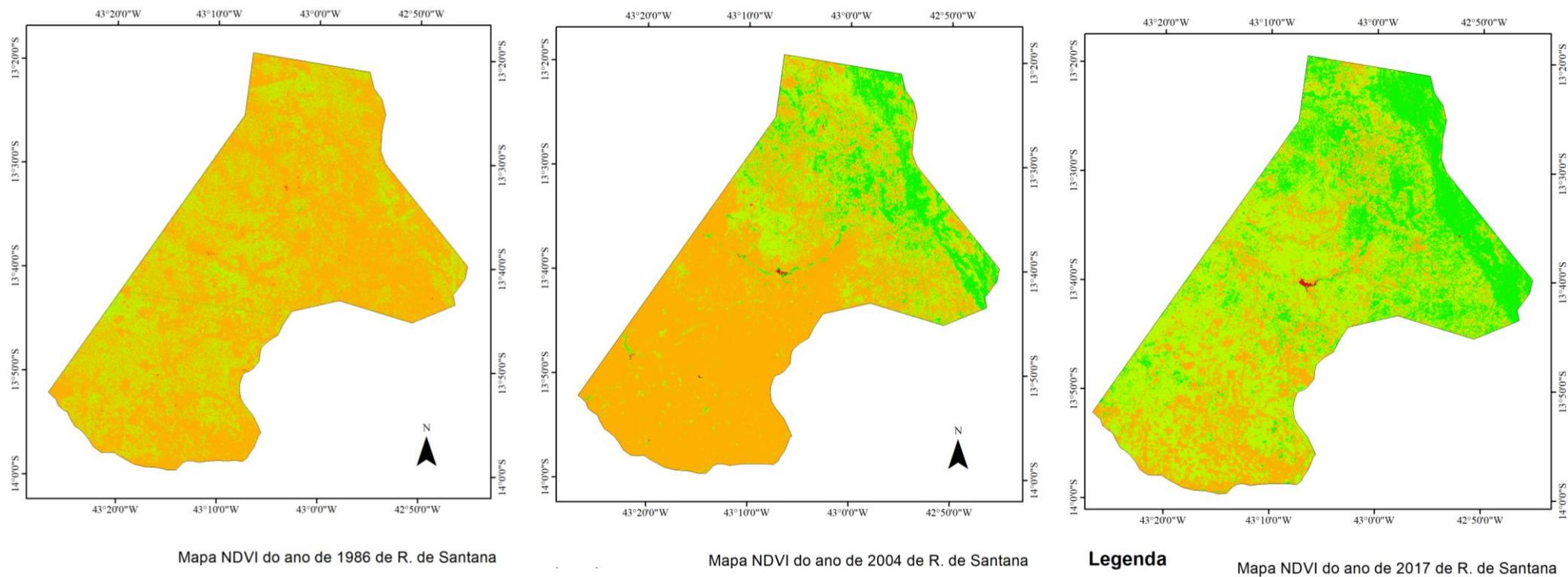
A classe 3, que representa plantas espontâneas e gramíneas, nas imagens retratadas com um índice de 0,3 a 0,4, tiveram aumentos significativos ao longo do tempo, representando a maior parte da ocupação do solo em 2017, essa formação vegetacional ocupa o solo antes

exposto, oferecendo condições para que a vegetação de maior porte se estabeleça. Brasil (2014) destaca os estados da Bahia e Alagoas por terem cobertura de pastos plantados em área superior a 30% da sua área total, muitos pastos nativos constituem áreas de abandono recente da agricultura itinerante e da exploração de lenha, com corte raso, inexistindo uma quantificação desses diferentes tipos de pasto, dificultando a separação de áreas de Caatinga empobrecidas pelo trato indevido.

A classe 4 representa áreas de cultivo irrigados e plantas lenhosas, mas pela restrição hídrica do local, a predominância nessas classes é de plantas lenhosas. A estrutura lenhosa confere robustez, que por sua vez, pode garantir a permanência das folhas, uma vez que há nessas plantas raízes mais profundas e reservas de água mais desenvolvidas. É notável que ao passar do tempo, há uma maior ocorrência dessa vegetação nas porções norte e noroeste do município, nessas porções são encontradas as áreas mais montanhosas do município (Figura 7). Cruz *et al.* (2009), ao elaborar o mapa de uso da terra verificou maior concentração de florestas em relevo mais acidentado, com fragmentos se inserindo numa matriz de pastagem, por dificuldade técnica oferecida pela paisagem, a formação vegetacional tende a ser mantidas nesse ambiente.

Os valores de intervalo de classe foram semelhantes aos encontrados por Ferreira *et. al.*, 2012, onde os intervalos de 0,3 a 0,4 foram atribuídos à vegetação da caatinga no período em que essa se encontra sem folhas e os valores maiores que 0,4 foram atribuídos a áreas de perímetro irrigado e vegetação arbórea de maior porte. Kazmierczak (1996) encontrou valores ao redor de 0,3 para vegetações abertas e valores próximos de 0,4 para vegetação arbustiva densa.

Figura 06: Mapa temático do NDVI do Município de Riacho de Santana nos anos 1986, 2004 e 2017.



Legenda

- Água - (0)
- Solo exposto (0,1 - 0,3)
- Vegetação rasteira (0.3 - 0.4)
- Vegetação lenhosa (0.4 - 0.8)

N

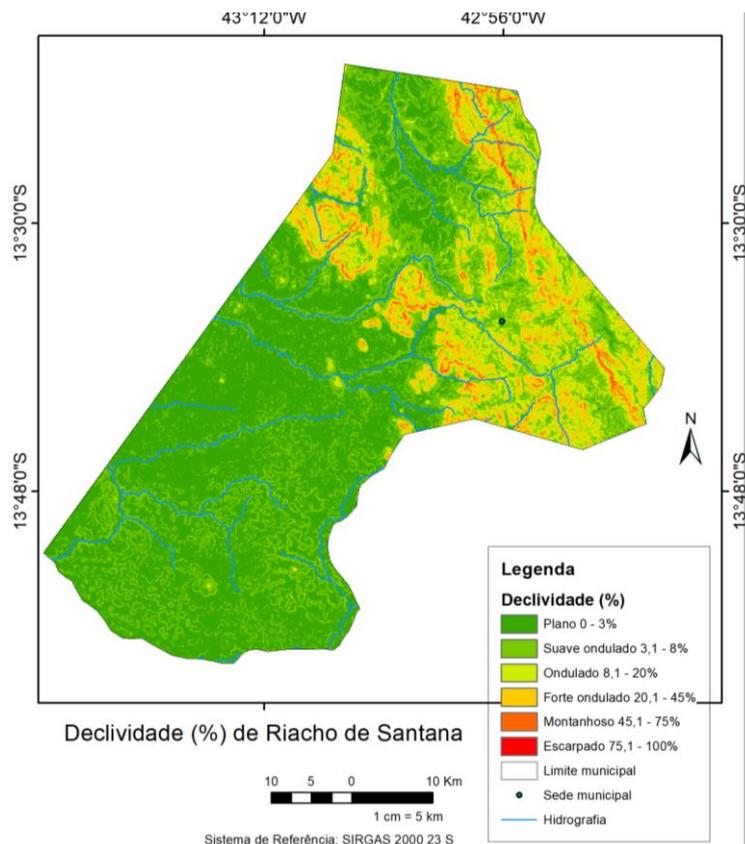
 Sistema de referências: SIRGAS 2000, Zona 23 S

10 5 0 10 Km


1:420,000

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 07: Mapa temático da declividade do município de Riacho de Santana.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O SAVI incorpora um fator de ajuste (L), esse fator atua minimizando os efeitos solo no processamento do índice, com resultado obtido para as imagens de satélite referente aos anos 1986, 2004 e 2017 foi elaborada a figura 9.

Como esperado, há decréscimo nos valores dos índices do SAVI com relação ao NDVI, indicando a interferência do solo na resposta esperada pela vegetação, para todas as classes se observou um decréscimo no valor do índice de 0,10. Fonseca (2007) ressaltou que no seu trabalho, o SAVI demonstrou uma menor cobertura para vegetação e que o fator de ajuste considerado, contribuiu para uma melhor identificação da vegetação e do solo, no período de seca, o índice reduziu os efeitos da refletância do solo, este que interfere na resposta da cobertura vegetal.

Na imagem SAVI, a classe 1 não mostrou nenhuma diferença com relação ao NDVI. É notável que ao passar do tempo a classe 2 diminuiu enquanto as classes que representam a vegetação aumentaram, de tal forma que a maior classe em 2017 foi de “Vegetação rasteira”, indicando as possibilidades de aumento nas pastagens ou do aparecimento de vegetação espontânea. Alves, Araújo e Nascimento (2009), assim como Freire (2017) dizem em seus trabalhos que as atividades antrópicas, com destaque a pecuária extensiva, contribuíram para

alterações estruturais da Caatinga e estas se refletem nas suas gradações, porém não são os únicos fatores, condições climáticas locais aliadas a outros fatores devem ser consideradas para análises mais completas. Carvalho e Freitas (2005) citam a necessidade de interdisciplinaridade para atingir resultados mais precisos e detalhados, pois o material de base pré-existente mostrou-se limitado.

A classe 4 mostrou um certo aumento ao longo dos anos, tendo sua maior presença em 2017, porém na imagem geradas pelo SAVI, houve uma menor cobertura do solo, quando comparada com o NDVI. Brasil (2014) cita no seu diagnóstico que um aumento da vegetação lenhosa pode ter relação com a diminuição da importância do extrativismo à medida que as plantas mais úteis foram sendo incorporadas ao sistema agrícola, em 1980, a produção de lenha era cerca de três vezes maior que a de 1995/1996, e a de carvão apenas um pouco maior (SAMPAIO *et al.* 1987), dessa maneira supõe-se que essa tendência de diminuição continue e até se acelere, com a substituição, cada vez maior, de seu uso doméstico pelo gás de cozinha.

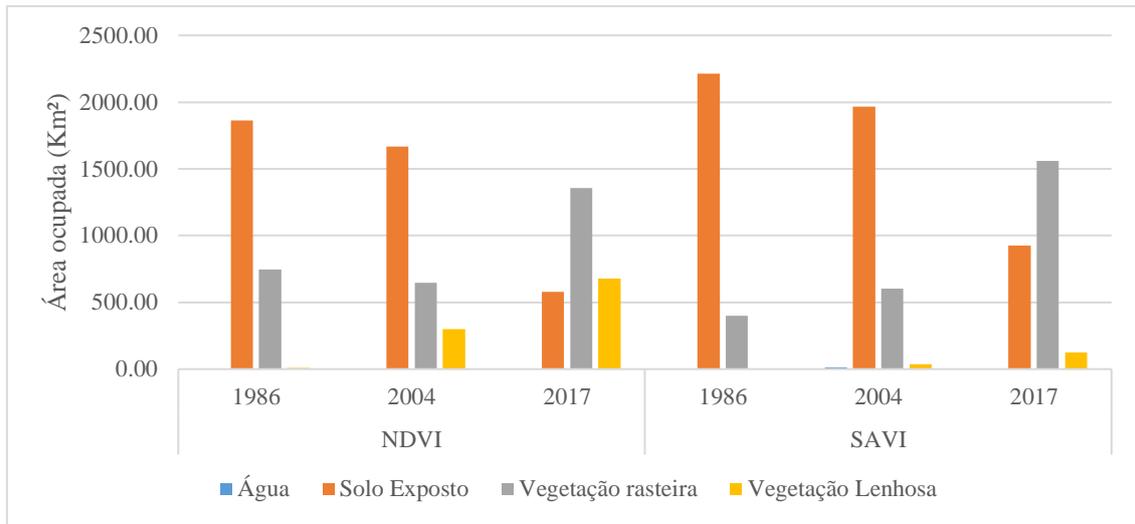
Por meio da reclassificação de *raster* foi possível gerar a figura 08, que permite ver em termos percentuais as mudanças durante os anos analisados dos dois índices. É notável o aumento gradual da “Vegetação Rasteira” e simultaneamente o decréscimo do “Solo Exposto” em ambas as análises. O índice NDVI superestimou a classe 4 correspondente a “Vegetação Lenhosa”, sugerindo que a vegetação daquela área estava caduca.

Na tabela 05 (no apêndice) é possível ver a quantificação percentual das áreas e as diferenças numéricas da área ocupada pelas classes aqui definidas. Os índices diferem, evidenciando o efeito da refletância do solo

Tabela 05: Quantificação percentual das áreas analisadas.

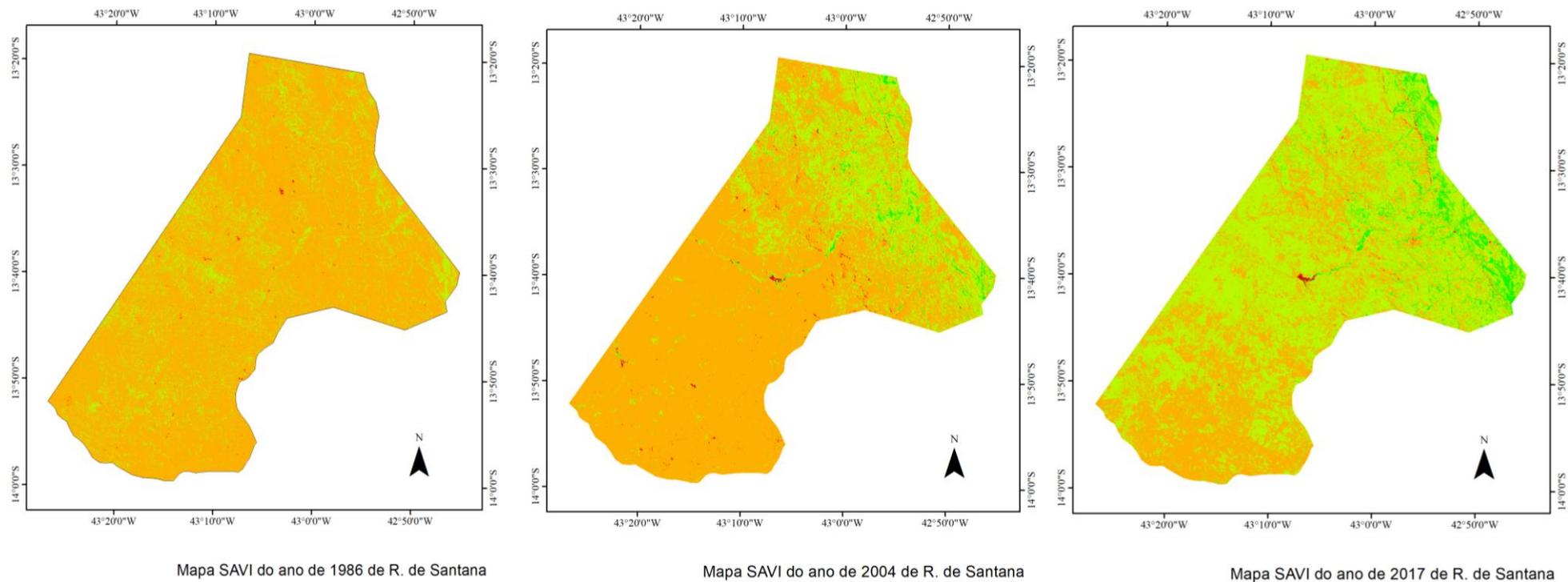
Classes dos alvos	NDVI			SAVI		
	1986	2004	2017	1986	2004	2017
Água	0.04	0.09	0.10	0.13	0.46	0.24
Solo Exposto	71.12	63.72	22.14	84.55	75.17	35.37
Vegetação rasteira	28.57	24.76	51.89	15.31	22.97	59.62
Vegetação Lenhosa	0.28	11.44	25.89	0.02	1.41	4.78

Figura 08: Percentual da área ocupada nos anos 1986, 2004 e 2017, divididos por classe de ocupação e IV.



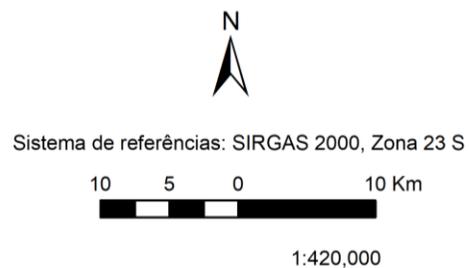
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 09: Mapa temático do SAVI do Município de Riacho de Santana nos anos 1986, 2004 e 2017.



Legenda

- Água (0)
- Solo exposto (0.1 - 0.2)
- Vegetação rasteira (0.2 - 0.3)
- Vegetação lenhosa (0.3 - 0.7)



Fonte: Elaborado pelo autor.

5 CONCLUSÕES

Considerando os índices de vegetação no monitoramento espaço-temporal da cobertura da terra no município de Riacho de Santana para os anos de 1986, 2004 e 2017, foi observado que os resultados gerados apresentam diferenças quanto ao comportamento dos alvos, com destaque para o aumento da vegetação rasteira com um incremento de 44,31% relativo aos 31 anos analisados, e a classe de solo exposto reduziu 53,18%, baseando no índice SAVI.

O SAVI se mostrou informações complementares ao NDVI, uma vez que o fator e correção evidenciou áreas com solo exposto com mais intensidade, possivelmente adaptação a seca da vegetação típica da Caatinga, isso pode ser verificado pela diferença da classe vegetação lenhosa que teve um percentual de ocupação de 25,89% no NDVI e de 4,78% no SAVI.

Apesar da precipitação apresentar uma diminuição com relação a média histórica, se observa, ao contrário do esperado, maior ocupação do solo pela vegetação, o que evidencia a alta capacidade da flora ali existente de otimização do consumo de água e realização da fotossíntese, mediante a tendência de diminuição da pressão humana sobre a vegetação, como mostrou o relatório de Brasil, 2014.

Deve-se manter frequente o monitoramento do uso do solo afim de confirmar a tendência de aumento da vegetação e na medida do possível, procurar outras variáveis que possam interferir na cobertura da terra.

6 REFERÊNCIAS

ABREU, K. M. P de; COUTINHO, L.M. Sensoriamento remoto aplicado no estudo da vegetação com ênfase em índice de vegetação e métricas da paisagem. **Revista Vértices**, Campos dos Goytacazes/RJ. v.16, n.1, p. 173-196, 2014. DOI: 10.5935/1809-2667.20140012.

AGGARWAL, S. Principles of Remote Sensing. In: SIVAKUMAR, M.V.K. et al. Satellite Remote Sensing and GIS Applications in **Agricultural Meteorology**. Dehra Dun, Índia, World Meteorological Organization. 2004.

ALMEIDA, T.S; FONTANA, D. C. Desempenho dos índices de vegetação NDVI e PVI para a cultura da soja em diferentes condições hídricas e de sistema de manejo do solo. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Natal, 2009.

ALMEIDA, A. P.. **ANÁLISE MULTITEMPORAL E ESPACIAL DO USO E COBERTURA DAS TERRAS NO MUNICÍPIO DE CASA NOVA, BAHIA, NO PERÍODO DE 1996 A 2011**. 2017. 172 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Modelagem em Ciência da Terra e do Ambiente, UEFS, Feira de Santana - Ba, 2017.

ALVES, J. J. A.. **Geoecologia da caatinga no semi-árido do Nordeste brasileiro**. CLIMEP: Climatologia e Estudos da Paisagem, Rio Claro, v.2, n.1, p. 58-71, 2007.

ALVES, J. J. A.; ARAÚJO, M. A. de; NASCIMENTO, S. S. do. **DEGRADAÇÃO DA CAATINGA: UMA INVESTIGAÇÃO ECOGEOGRÁFICA**. Caatinga (Mossoró, Brasil), v.22, n3, p 126-135, julho/setembro 2009

ALVARES, C.A., STAPE, J.L., SENTELHAS, P.C., GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

BAPTISTA, G. M. M. **Mapeamento e quantificação da relação Caulinita/ (Caulinita+Gibbsita) de solos tropicais, por meio dos dados do sensor AVIRIS (JPL/NASA)**. Tese (doutorado). Instituto de Geociências Aplicadas, Universidade de Brasília, 2001.

BARBOSA, K. M. N do. **Monitoramento espacial de biomassa e carbono orgânico da vegetação herbácea de várzea na Amazônia Central**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, Tese de Doutorado, 131 p., 2006.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Biodiversidade da caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**. Brasília – DF: 2003.

BRASIL. Ministério Público do Estado da Bahia. **Operação Corcel Negro combate produção ilegal de carvão no oeste baiano**. Barreiras, 2011. Disponível em: <<https://www.mpba.mp.br/noticia/26733>>. Acesso em 05/02/2019

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Diagnóstico da vegetação nativa do Bioma Caatinga. Brasília – DF: 2014. ISBN: 85-87166-47-6**. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/bioma_caatinga/catalogo/REC000gdbxm5gy02wx5ok0rofsmqko69p5o.html>. Acesso em 05/02/2019

BRAGA, C. C. *et al.* Tempo de resposta da vegetação às variabilidades sazonais da precipitação no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p.149-157, 2003.

CARVALHO, V. C.; FREITAS, M. W. D. Mapeamento das paisagens em nível de geossistema de três áreas representativas do bioma Caatinga. **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 2087-2099.

CHIANG, J.C.H. & A. KOUTAVAS. Tropical flip-flop connections. **Nature**.684-685, 2004

CHANDER, G.; Markham, B.L.; HELDER, D.L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. **Remote Sensing of Environment**. 2009.

CONGEDO, L. Semi-Automatic Classification Plugin Documentation. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.29474.02242/1>

CRUZ, C.B.M. et al. Classificação Orientada a Objetos na Geração do Mapa de Uso e Cobertura da Terra do estado do Rio de Janeiro. **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, 14., 2009, Natal. Anais... p. 7789-7796.

EASTMAN, J.R. HASENACK, H.; WEBER, E. **Recursos IDRISI**, Porto Alegre, UFRGS, 1996. Disponível em: <<http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo/arquivos/downloads>>. Acesso em: 05/022019.

EITEN, G. **Classificação da vegetação do Brasil**. Brasília, CNPq, 1983. Cap.5, p.18-19
EMBRAPA, ABC da Agricultura Familiar – Preservação e uso da Caatinga, Brasília, DF, 2007.

FEITOSA, M.V. **Variação temporal do Índice de Vegetação (NDVI) correlacionada ao uso e manejo do solo para a estimativa da erosão.** Instituto Agronômico de Campinas - IAC, Dissertação de Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical 2006. 128p.

FONSECA, Rayane Cavalcanti da. **Análise de índices de vegetação (NDVI e SAVI) no estudo da dinâmica geoespacial e espectro-temporal da vegetação de caatinga, cultura irrigada e solo exposto do município de Petrolina/Pe.** Tcc – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

FLORENZANO, T.G. **Imagens de satélite para estudos ambientais.** São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 97p.

FREIRE, N. C. F.; PACHECO, A. da P. Uma abordagem geoespacial e espectro-temporal da degradação ambiental no bioma caatinga na região de xingó, brasil. **Ci. & Tróp**, Recife, p.97-128, 2017. V. 41, n. 2.

FIGUEIRO, J. M., ARAÚJO, E. L., PAREYN, F. G. C., CUTLER, D. F., GASSON, P., LIMA, K. C., SANTOS, V. F. Variações sazonais na sobrevivência e produção de biomassa de *Caesalpinia pyramidalis* Tul após o corte raso e implicações para o manejo da espécie. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 6, p. 1041-1049, 2008.

FREIRE, Neison Cabral Ferreira. PACHECO, Admilson da Penha. Uma abordagem geoespacial e espectro-temporal da degradação ambiental no bioma caatinga na região de Xingó, Brasil. **Ci. & Tróp**. Recife, v. 41, n. 2, p. 97-128, 2017.

Genz , F.; Silva , S. F.; Tanajura , C. A. S. Impacto das mudanças climáticas nas vazões do rio Paraguaçu - cenário A1B de 2011 a 2040. In: **SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE**, 11., 2012, João Pessoa, PB. Anais... Porto Alegre: ABRH, 2012.

HUETE, A.R; LIU, H.Q. An error and sensivity analysis of the atmospheric and soil-correcting variants of the NDVI for the MODIS-EOS. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, 32(4):897-905,1994.

HUETE, A.R. A Soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, 25:295-309, 1988.

HUETE, A.R., JUSTICE, C.**MODIS Vegetation Index (MOD13) Algorithm Theoretical Basis Document**, Greenbelt: NASA Goddard Space Flight Center. Disponível em:

<<http://modarch.gsfc.nasa.gov/MODIS/LAND/#vegetation-indices>>, 129 p., 1999. Acesso em fevereiro de 2019.

IBGE, 2016. **Mapa de Biomas do Brasil, primeira aproximação**. Rio de Janeiro: IBGE.

IBGE, 2004. **Mapa de Biomas do Brasil, primeira aproximação**. Rio de Janeiro: IBGE.

IBGE, 2018. **Estimativas da população residente com data de referência 1º de julho de 2018**. Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais. Rio de Janeiro: IBGE, 2018.

INNES, J. L.; KOCH, B. Forest Biodiversity and its assessment by remote sensing. **Global Ecology and Biogeography Letters**, v.7, p. 397-419, 1998.

JENSEN, J.R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução José Carlos Neves Epiphanyo *et. al.* São José dos Campos. SP. Ed. 1, 2009. 244p. ISBN: 97885605070601

KARIYEVA, J.; VAN LEEUWEN, W.J.D. Environmental Drivers of NDVI – Based Vegetation Phenology in Central Asia. **Remote Sensing**, v.3, n.2, p.203-246, 2011.

KAZMIERCZAK, Marcos Leandro. USO DE DADOS AVHRR/NOAA GAC PARA ANÁLISE DA SAZONALIDADE DA CAATINGA. **Anais Viii Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, INPE, p.513-518, 19 abr. 1996.

KROL, M.S., A. JAEGAR, A. BRONSTERT & J. KRYWKOW. 2001. The semiarid integrated model (SDIM), a regional integrated model assessing water availability, vulnerability of ecosystems and society in NE-Brazil. **Physics and Chemistry of the Earth (B)** 26: 529-533.

KOUSKY, V.E.; GAN, M.A. **Upper tropospheric cyclonic vortices in the tropical South Atlantic**. *Tellus, Boston*, v. 33, n. 6, p. 538-551, 1981.

LIMA JÚNIOR, C. de, ACCIOLY, L., GIONGO, V.; LIMA, R. L. F. de A; SAMPAIO, E. V. de Sá B.; MENEZES, R. S. C. Estimativa de biomassa lenhosa da caatinga com uso de equações alométricas e índice de vegetação. **Revista Scientia Forestalis**, v.42, n.102, p.289-298, jun.2014. Acesso em: 05/02/2019.

LINS, M.; ALBUQUERQUE, C. **Tecnologias para reduzir a pobreza no semi-árido**. Salvador, BA: UFBA, 2001.

LUNKES, R. P.; MARTINS, G. **Alfabetização Cartográfica: Um desafio para o ensino da geografia**. São Paulo: Atlas, 2009.

MARENGO, JOSE A. **Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semi-árido do Brasil**. Parcerias estratégicas, v. 13, n. 27, p. 149-176, 2010.

MARCUSSI, A B; BUENO, C. R. P.; MIQUELONI, D. P., ARRAES, C. L. Utilização de índices de vegetação para os sistemas de informação geográfica. **Revista Caminhos de Geografia**, v. 11, n. 35, 2010, p. 41-53.

MORAES, E. C. de. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto**. INPE, São José dos Campos, 2002.

NIMER, E. 1972. Climatologia da região Nordeste do Brasil. Introdução à climatologia dinâmica. **Revista Brasileira de Geografia** 34: 3-51.

NOVO, E.M. L. **Moraes. Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. Edição revista 4. São Paulo: Edgard Blucher, 2010. 388p.

NASA. **Landsat 7 Science Data Users Handbook Landsat Project Science Office**. NASA's Goddard Space Flight Center, Greenbelt, 2011.

OLIVEIRA FILHO, A. T.; JARENKOV, J. A.; RODAL, M. J. N. Floristic relationships of seasonally dry forests of eastern South America based on tree species distribution pattern. Neotropical savannas and seasonally dry forests. Boca Raton (EUA): **CRC Press**, p. 159-190, 2006.

PRADO, D. As caatingas da América do Sul. In: I.R. Leal, M. Tabarelli & J.M.C. Silva (eds.). Ecologia e conservação da Caatinga. pp. 3-73. Editora Universitária, UFRB, Recife, Brasil. 2003

PONZONI, F.J.; SHIMABUKURO, Y.E. **Sensoriamento Remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2007. 144p.

SOARES FILHO, B. S. **Modelagem da dinâmica de paisagem de uma região de fronteira de colonização amazônica**. 1998. 299 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP). São Paulo, 1998.

SILVA, F. B. da; OLIVEIRA, C.W.; NESS, R. L. L.; ARAÚJO, R. S.; ARAÚJO, G. P. de; SILVA, V. Determinação do índice de área foliar (IAF) e do índice de vegetação da diferença

normalizada (NDVI) na chapada do Araripe através de imagens de satélite (LandSAT 5 TM), diferentes anos, na estação seca. **VI Encontro Nacional da Anapás**, Belém-PA.

SAMPAIO, E.V.S.B. 1995. Overview of the Brazilian Caatinga. In: S.H. Bullock, H.A. Mooney & E. Medina (eds.). Seasonally dry forests. pp. 35-58. **Cambridge University Press, Cambridge**, Reino Unido.

SAMPAIO, Y., E.V.S.B. SAMPAIO & E. BASTOS. **Parâmetros para determinação de prioridades de pesquisas agropecuárias no Nordeste semi-árido**. Departamento de Economia - PIMES/UFPE, Recife, PE. 224p. 1987.

SILVA, J. M. C. da; TABARELLI, M.; LINS, M. T. F. da. **Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente: Universidade Federal de Pernambuco, 2004.

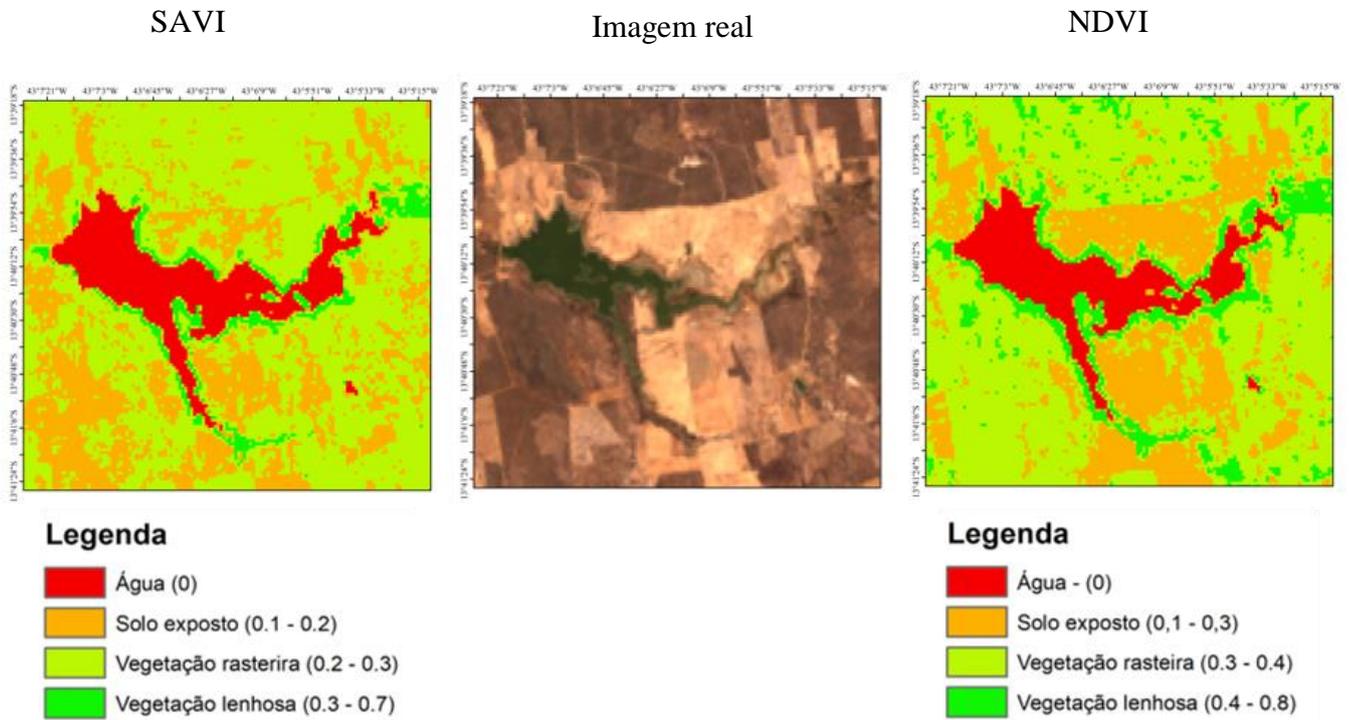
STEFFEN, C.A. Fundamentos de radiometria. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Salvador, 1996, p.1-17. INPE.

WANG, Q., ADIKU, S., TENHUNEN, J.; GRANIER, A. On the relationship of NDVI with leaf area index in a deciduous forest site. **Remote Sensing of Environment**, 94:244-255, 2005.

VALÉRIO, Erick de Lima Sebadelhe; FRAGOSO JÚNIOR, Carlos Ruberto. Avaliação dos efeitos de mudanças climáticas no regime hidrológico da bacia do rio Paraguaçu, BA. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 20, n. 4, p.872-887, 2015.

7 APÊNDICE

Figura 10: Validação das classes pela comparação dos índices com imagem real de elementos da paisagem.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 11: Cobertura de nuvens nas cenas utilizadas nos anos analisados.



Fonte: Elaborado pelo autor.