



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO SEMIÁRIDO
UNIDADE ACADÊMICA DE TECNOLOGIA DO DESENVOLVIMENTO
CURSO DE ENGENHARIA DE BIOSISTEMAS**

RUBENS BARRICHELLO GOMES BARBOSA

**UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE “R” NA AVALIAÇÃO DA
COBERTURA VEGETAL DA BACIA HIDROGRÁFICA
DO RIO SUCURU.**

**SUMÉ - PB
2019**

RUBENS BARRICHELLO GOMES BARBOSA

**UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE “R” NA AVALIAÇÃO DA
COBERTURA VEGETAL DA BACIA HIDROGRÁFICA
DO RIO SUCURU.**

Monografia apresentada ao Curso Superior de Engenharia de Biosistemas do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Biosistemas.

Orientador: Professor Dr. George do Nascimento Ribeiro.

**SUMÉ - PB
2019**

B238u Barbosa, Rubens Barrichello Gomes.
 Utilização do Software “R” na avaliação da cobertura vegetal da
 Bacia Hidrográfica do Rio Sucuru. / Rubens Barrichello Gomes
 Barbosa. - Sumé - PB: [s.n], 2019.

36 f.

Orientador: Professor Dr. George do Nascimento Ribeiro.

Monografia - Universidade Federal de Campina Grande; Centro
de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido; Curso de Engenharia
de Biosistemas.

1. Sensoriamento remoto. 2. Bacia do Rio Sucuru. 3. Índices de
vegetação. 4. Degradação ambiental. Software R. I. Título.

CDU: 528.8(043.1)

Elaboração da Ficha Catalográfica:

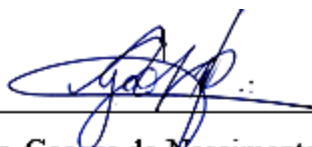
Johnny Rodrigues Barbosa
Bibliotecário-Documentalista
CRB-15/626

RUBENS BARRICHELLO GOMES BARBOSA

**UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE “R” NA AVALIAÇÃO DA
COBERTURA VEGETAL DA BACIA HIDROGRÁFICA
DO RIO SUCURU.**

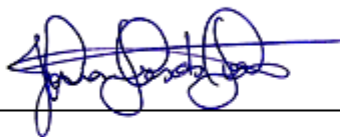
Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Biosistemas do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Biosistemas.

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. George do Nascimento Ribeiro

Orientador – UAEB/CDSA/UFCG



Prof. Dra. Joelma Sales dos Santos

Examinadora – UATEC/CDSA/UFCG



Prof. Dra. Lenilde Mérgia Ribeiro Lima

Examinadora – UAEB/CDSA/UFCG

Trabalho aprovado em: 27 de novembro de 2019.

SUMÉ - PB

Dedico esta, assim como todas as demais conquistas, primeiramente a Deus, por sempre guiar-me, aos meus pais e amigos que tanto apoiaram e incentivaram para o meu crescimento pessoal e profissional.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ser essencial em minha vida, a minha fonte vital de inspiração e por todas as graças hoje e sempre. Serei eternamente grato a ti Senhor.

À minha mãe, Maria Gomes Barbosa pela educação, incentivo e amor. Obrigado por todas as palavras de força nos momentos em que mais precisei durante o ciclo acadêmico e na vida. Te amo, mãe.

Ao meu irmão, Carlos André, e ao meu pai por me ajudar financeiramente para que eu continuasse os meus estudos. Gratidão.

Ao meu avô, José Manoel (in memoriam). Saudades eternas, vô.

Aos meus eternos amigos, Bruna, Romário, Nivaniellen, Alessandra, Clara, Rebeca, Dayane, Milena, Ana Clara, Naiara, Laís, Raquel e Manoel. Vocês estarão para sempre em meu coração.

Agradeço à minha amiga Teresa Cristina, por me ajudar a crescer profissionalmente. Gratidão.

A todas as minhas “segundas” mães, Concélia, Claudiana, Dalvani e Ivanice, por me ajudarem tanto quando mais precisei de apoio. Eternamente grato.

A todos os meus professores da Universidade Federal de Campina Grande do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido, em especial aos professores: Aldinete, Fabiana, Joelma, George, Tatiana, Morgana, Mérgia, Nahum e Débora. Serei eternamente grato a vocês por todo ensinamento para contribuição do meu crescimento profissional.

Aos meus orientadores de PIBIC, Profª. Dra. Joelma Sales e Prof. Dr. George Ribeiro por todos os ensinamentos e carinho que estiveram comigo. Imensamente grato.

Aos meus orientadores de Monitoria, Profª. Dra. Fabiana Pimentel e Prof. Dr. George Ribeiro, pelos ensinamentos. Gratidão.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para que eu me tornasse Engenheiro de Biosistemas.

RESUMO

Atualmente, o sensoriamento remoto vem se tornando uma excelente ferramenta para avaliação da degradação ambiental. A presente pesquisa se propõe utilizar o Software “R” para avaliar a cobertura vegetal na bacia hidrográfica do rio Sucuru-PB, por diferentes índices de vegetação. O processamento das imagens e estimativas dos índices de vegetações (IV’s) foram realizados no Software “R”, adotando pacotes específicos e rotinas matemáticas que denotem os IV’s requeridos, tais quais: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN), Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI) e Índice de Vegetação Ajustado para o Solo (SAVI). De acordo com os resultados para o período seco, o IVDN variou de -0,3 a 0,4, caracterizando, respectivamente, como solo exposto e presença de vegetação rala. No período úmido o IVDN variou de 0,0 a -1,0, sendo classificado, respectivamente, como região limite e cursos hídricos. O NDWI para o período seco variou de -1,0 a 0,6 e, para o úmido variou de -0,8 a 0,6, apontando como área de solo exposto e com presença de áreas agricultáveis ou cursos hídricos, respectivamente. O SAVI variou de -0,8 a 0,5 para o período seco, enquanto para o úmido variou de 0,5 a -0,5, sendo, portanto, caracterizados como vegetação densa e áreas de alta degradação, respectivamente. Não obstante, ressalta-se que a produção desses mapas foi de extrema rapidez, quando comparado ao método tradicional.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto. Índices de vegetação. Degradação ambiental.

ABSTRACT

Currently, remote sensing has become an excellent tool to evaluate environmental degradation. In this occasion, present research proposes to use Software "R" to evaluate vegetation cover in the watershed of Rio Sucuru, state of Paraíba, by means of different vegetations indices. Processing of images and estimates of vegetation index (VI) were performed in Software "R", adopting specific packages and mathematical routines that denot required VI, such as: Normalized Difference of Vegetation Index (NDVI), Normalized Difference Water Index (NDWI) and Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI). According to results, IVDN for dry period ranged from -0.3 to 0.4, characterizing, respectively, as exposed soil and presence of superficial vegetation, while for humid period IVDN ranged from 0.0 to -1.0, being, respectively, classified as threshold and watercourses and/or water. NDWI for dry period ranged from 1.0 to 0.6 and for humid period ranged from -0.8 to 0.6, indicating as an area of exposed soil and with presence of agricultural areas or water courses, respectively. SAVI ranged from 0.5 to -0.8 for dry period, while for humid season SAVI ranged from 0.5 to -0.5 and were therefore characterized for two periods under study as dense vegetation and areas of high degradation. However, it is noteworthy that production of these maps was extremely fast when compared to traditional method.

Keywords: Remote Sensing. Vegetation Index. Environmental Degradation.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IV's	Índices de Vegetações
IVDN	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
NDWI	Índice de Diferença Normalizada da Água
SAVI	Índice de Vegetação Ajustado para o Solo
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
SR	Sensoriamento Remoto
REM	Radiação Eletromagnética

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS	12
2.1 OBJETIVO GERAL	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1 BACIA HIDROGRÁFICA.....	14
3.2 USO DA GEOTECNOLOGIA - SENSORIAMENTO REMOTO EM ESTUDOS VEGETACIONAIS.....	15
3.3 ÍNDICES DE VEGETAÇÃO	16
3.3.1 <i>Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN)</i>	17
3.3.2 <i>Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI)</i>	17
3.3.3 <i>Índice de Vegetação Ajustado para o Solo (SAVI)</i>	17
3.4 UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE R PARA MAPEAMENTO DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO	18
4 MATERIAL E MÉTODOS	19
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	19
4.2 PROCESSAMENTO DAS IMAGENS	21
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
5.1 ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (IVDN)	23
5.2 ÍNDICE DE ÁGUA POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDWI).....	26
5.3 ÍNDICE DE VEGETAÇÃO AJUSTADO PARA O SOLO (SAVI).....	28
6 CONCLUSÕES	32
REFERÊNCIAS	33

1 INTRODUÇÃO

Segundo Silveira (2009) bacia hidrográfica é definida como uma área de captação natural da água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório. Para gestão e análise de bacias hidrográficas, o uso de geotecnologias é uma ferramenta essencial e seu desenvolvimento deve-se à aplicação da geografia quantitativa atrelada aos sistemas computacionais voltados para a análise espacial georreferenciada (BOTELHO; SILVA, 2004).

Com o advento do uso das geotecnologias, especificamente se tratando do georreferenciamento dos recursos hídricos, que constitui-se num instrumento importante, visto que possibilita analisar a área de determinada bacia hidrográfica em estudo, bem como a situação da cobertura vegetal e a ocupação do solo, sistematizar e manusear dados matriciais quanto vetoriais dentro de um banco de dados georreferenciados (ENCINA *et al.*, 2018).

Nessa ótica, é possível mensurar as causas primordiais de degradação dos recursos naturais, que em maior parte, são causados pelo homem, tais como o desmatamento, uso e ocupação do solo, atividades agrícolas e de pecuária, sendo ocasionadas por populações com baixo senso crítico ambiental, impactando diretamente as bacias hidrográficas, que no cenário do semiárido nordestino, são relevantes para o equilíbrio natural do ambiente, que sofre com secas periódicas (FERREIRA JÚNIOR; DANTAS, 2018).

Imagens multitemporais de sensoriamento remoto, transformadas em índices de vegetação (IV's), são ferramentas poderosas usadas para monitorar mudanças ocorridas na cobertura vegetal (KARNIELI *et al.*, 2002). Em muitos dos estudos com dados de sensoriamento remoto, os que são relacionados com o domínio do tempo têm proporcionado melhores resultados diante dos casos de domínio espacial, radiométrico e espectrais (ALMEIDA *et al.*, 2008).

Os índices obtidos por sensoriamento, segundo Jensen (2009) são medidas radiométricas adimensionais e sua utilização pode facilitar a identificação e na obtenção de informações sobre a cobertura do solo. As imagens digitais advindas dos sensores remotos orbitais são constituídas por *pixels*, cada um com seu valor de número digital, e que possui uma relação direta com a radiação eletromagnética dos alvos que chega ao sensor.

Para verificar a vegetação, diversas técnicas podem ser utilizadas, tais como a identificação da vegetação com o auxílio das imagens de satélite, que se torna uma tecnologia veloz e em algumas situações mais eficientes, principalmente quando a análise ocorre em lugares inóspitos (SILVA *et al.*, 2011).

Segundo Magalhães *et al.* (2017) para analisar uma vegetação, faz-se necessário utilizar processamento de imagens de satélite com o intuito de propiciar uma melhor extração dos alvos analisados. Dentro destes processamentos, têm-se como exemplo processos de classificação automática de imagens, índices de vegetação como o Índice de Diferença Normalizada da Vegetação (IVDN), Índice de Diferença Normalizada da Água (NDWI) e o Índice de Vegetação Ajustado para o Solo (SAVI).

Os índices de vegetação são operações algébricas que envolvem faixas de reflectância específicas, permitindo determinar a cobertura vegetal e a sua densidade (CRUZ *et al.*, 2011). Os índices de vegetação espectral são combinações matemáticas de diferentes bandas espectrais, principalmente nas regiões do visível e infravermelho próximo do espectro eletromagnético (VIÑA *et al.*, 2011).

Concernente ao software “R”, este utiliza uma linguagem de programação especializada em computação com dados, que possui vantagens, tais quais, possui caráter gratuito e disponibilidade para um leque bastante variado de sistemas operacionais, além de ser altamente expansível com o uso de pacotes, que são bibliotecas para estudos ou funções específicas (SILVA *et al.*, 2009).

A análise de dados espaciais também é muito difundida em “R” e tem ganho um grande número de recursos nos últimos anos, uma vez que se mostra uma alternativa viável, em relação a *softwares* comerciais, para análises espaciais e geoestatísticas, já que importa, armazena, analisa e permite a visualização dos resultados (POVOA *et al.*, 2011).

Alencar (2008) observando a degradação ambiental, constatou que, na bacia do rio Sucuru, principal contribuinte do açude de Sumé-PB, predominam os níveis de degradação moderado grave, grave e muito grave de degradação das terras, como também um grau acentuado de antropismo com desmatamento da cobertura vegetal de grandes áreas, e as águas subterrâneas da bacia do rio Sucuru apresentam restrição ao uso agrícola no tocante ao problema de salinidade.

Nesse contexto, avaliar a cobertura vegetal da bacia hidrográfica em questão, constitui-se de primordial fator para estudos ambientais, gestão e planejamento de recursos naturais e da bacia hidrográfica, compreensão dos processos hidrológicos, diagnóstico da dinâmica no espaço urbano e rural.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Utilizar o Software “R” para avaliar a cobertura vegetal na bacia hidrográfica do rio Sucuru, estado da Paraíba, por meio de diferentes índices de vegetação para o período seco e úmido da região, utilizando imagens do satélite LANDSAT 8.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Escolher as imagens orbitais decadais dos satélites LANDSAT 8 TM/OLI para diversas épocas do ano de 2016 (trimestre seco e úmido).
- ✓ Processar as imagens orbitais e estimar os diferentes índices de vegetação.
- ✓ Avaliar e analisar os dados para identificação dos diferentes valores de índices vegetacionais em diferentes épocas do ano de 2016.
- ✓ Utilizar o *Software* “R” para produção de mapas de índices de vegetação.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 BACIA HIDROGRÁFICA

Para Priess e Hauck (2014) as bacias hidrográficas surgem como uma escala conveniente para análise. Para os mesmos autores, bacias hidrográficas são naturais e possuem unidades amplamente aceitas para gestão de recursos naturais. Seus limites e trajetos de fluxo organizam atividades hidrológicas e processos biogeoquímicos que sustentam os ecossistemas como: abastecimento de água, proteção contra inundações e produção de alimentos.

O gerenciamento de bacias hidrográficas vem enfrentando vários desafios globalmente, dentre os quais podem ser destacados: mudanças climáticas, a precipitação é mais variável, os solos estão cada vez mais degradados, a qualidade da água é prejudicada, inundações e as secas aumentam gradativamente, a demanda humana por recursos naturais cresce e a poluição não pontual excessiva ocasiona a eutrofização da água doce que são entraves para as próximas décadas, além de aumentarem as incertezas para a gestão de bacias hidrográficas (RISSMAN; CARPENTER, 2015).

A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), define bacia hidrográfica como unidade territorial para gerir os recursos hídricos, pois enquanto espaço geográfico, abrange a maior parte das relações de causa e efeito, principalmente no que diz respeito à contaminação da água oriunda das ações antrópicas. Nessa perspectiva, a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementar a PNHR e atuar mediante o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, pois a gerência dos recursos hídricos deve ser descentralizada e inserir a participação do poder público, dos usuários e das comunidades (DELUQUE, 2002).

O Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos faz parte de um todo integrado, para que o Conselho Nacional de Recursos Hídricos impulse a articulação do planejamento do uso dos recursos hídricos com os planejamentos nacional, regional e estadual. Ademais, é dever deste Conselho promover diretrizes para a implantação da PNRH e validar propostas de instituição de Comitês de Bacias Hidrográficas (SETTI *et al.*, 2001).

Os Comitês de Bacia Hidrográfica, desenvolvidos pela (PNRH), abrange territorialmente a totalidade de uma bacia hidrográfica, uma sub-bacia de tributário ou ainda um grupo de bacias ou sub-bacias contíguas. Estes Comitês têm por objetivo fomentar debates, arbitrar em primeira instância sobre os possíveis conflitos sobre a utilização dos

recursos hídricos, estabelecer meios de cobrança pelo uso de recursos hídricos bem como aprovar e acompanhar a execução do Plano de Recursos Hídricos (SALLES, 2001).

Segundo Freitas *et al.* (2002) os Comitês de Bacia Hidrográficas são instâncias fundamentais nesse modelo de gerência, uma vez que funcionam como parlamentos, que possuem representantes da comunidade civil, do poder público e dos usuários, procurando estabelecer a negociação em torno das múltiplas demandas por recursos hídricos.

3.2 USO DA GEOTECNOLOGIA - SENSORIAMENTO REMOTO EM ESTUDOS VEGETACIONAIS

Segundo Meneses e Almeida (2012) o Sensoriamento Remoto (SR) iniciou-se nos anos de 1960 e o progresso da área espacial nesses anos ficou conhecido como a “década da corrida espacial”, fase em que aconteceu o mais rápido desenvolvimento de foguetes lançadores de satélites, o que proporcionou pôr no espaço satélites artificiais para variadas finalidades.

Os primeiros satélites a marcarem imagens de algumas feições da superfície terrestre foram os satélites meteorológicos, demonstrando que era possível a visualização do espaço, contudo apresentava pouca nitidez. Com a combinação tecnológica de satélites artificiais e sensores propiciou um avanço tecnológico a serviço do levantamento dos recursos naturais terrestres (MARTINA, 2015).

O SR vem apresentando um ótimo desenvolvimento, facilitado pela utilização extensiva da internet, visto que é possível obter imagens de qualquer ponto do planeta e vem sendo utilizado não somente por especialistas, mas também por qualquer público em geral, popularizando o uso de imagens orbitais (CRÓSTA *et al.*, 2016).

O SR é uma geotecnologia que vem se tornando essencial na gestão de bacias hidrográficas, para contribuir no reconhecimento e monitoramento de prováveis mudanças nos recursos naturais. Nesse sentido, o SR permite armazenar, recuperar, manipular e analisar dados com aplicabilidade em diversas áreas de estudo (MENESES; ALMEIDA, 2012).

Conforme Novais *et al.* (2011) as técnicas do SR têm sido aplicadas como tecnologia para controle em áreas ambientais, pois elas permitem a aquisição de informações ambientais e climáticas, proporcionam análises breves com detalhes dos objetos em estudos, rápido processamento dos dados, praticidade, além do custo relativamente baixo.

Através de suas ferramentas, o SR permite a investigação dos parâmetros espectrais da vegetação, além dos parâmetros biofísicos da paisagem que são oriundos das análises das

alterações nas feições naturais por meio da modificação do comportamento espectral, retratados através de índices de vegetações e umidade (CHAGAS *et al.*, 2008).

Segundo Ponzoni *et al.* (2012) a vegetação, enquanto cobertura densa e parte essencial dos ecossistemas, vem sendo estudada mediante dados e técnicas de SR por várias décadas, uma vez que a folha é onde ocorre a maior parte dos fenômenos de interação da Radiação Eletromagnética (REM), pois apresenta pigmentos, espaços intercelulares e teores de água na folha, desempenhando primordiais papeis na absorção, transmissão e reflexão da REM.

3.3 ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

Nos dias atuais, os dados de sensoriamento remoto vêm sendo fundamentais em diagnósticos voltados a estudos do desempenho da vegetação, bem como na monitoração de fenômenos meteorológicos e ambientais (QUEIROZ, 2017). Nesse sentido, o SR é uma pertinente ferramenta para mapear e modelar, pois o avanço de inúmeros satélites e dados oriundos destes propiciou o acompanhamento da modificação do uso e cobertura da vegetação (ANDRADE *et al.*, 2011).

Para Karaburun (2010) a cobertura vegetal é um dos mais importantes indicadores biofísicos e podem ser estimadas por meio da utilização dos Índices de Vegetação (IV's). Mediante Bhandarie *et al.*, (2012) cada formato na superfície terrestre possui uma resposta peculiar espectral. Os mesmos autores apontam que os índices são parâmetros de medição usados para destacar estes formatos, especialmente distribuídas, nas imagens de SR para subsequente reconhecimento e extração de informações como desenvolvimento de culturas e área de cobertura vegetal, e certificam que estes índices de imagens multiespectrais estejam fundamentados nas resoluções espacial e espectral.

Os IV's foram desenvolvidos com a finalidade de explicar melhor as características espectrais da vegetação, usando essencialmente as regiões do visível e do infravermelho próximo. Esses índices podem caracterizar parâmetros como o índice de área foliar e a biomassa, produção de determinadas culturas, radiação fotossinteticamente ativa absorvida bem como reduzir os efeitos da iluminação da cena e declividade da superfície que interferiam na refletância da vegetação (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010).

3.3.1 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN)

O IVDN é um índice do SR que está inteiramente relacionado às atividades fotossintéticas da vegetação e seu cálculo é conforme a diferença normalizada entre duas bandas do espectro eletromagnético, a banda espectral do vermelho e a banda do infravermelho próximo. Os resultados relacionam-se com a diferença entre essas reflectâncias das bandas espectrais, quanto maior for a diferença entre essas bandas, maior será a atividade fotossintética da vegetação (SILVA, 2016).

Segundo Karaburun (2010) os valores de IVDN variam entre -1,0 e 1,0. Os valores negativos de IVDN ($IVDN < 0$) indicam corpos d'água, valores muito baixos ($IVDN < 0,1$) correspondem as áreas inférteis, já valores considerados moderados ($0,2 < IVDN < 0,3$) representam áreas de pastagem e arbustos, enquanto ($0,6 < IVDN < 0,8$) expressam florestas tropicais e temperadas e indicam a presença de “vegetação viva”, e por fim o solo exposto tem valor nulo ($IVDN = 0$).

3.3.2 Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI)

O NDWI é uma variação do IVDN e tem como intuito realçar e delinear automaticamente as águas abertas através da operação de bandas multiespectrais do verde e infravermelho próximo. O NDWI gera uma imagem nova, cujo valores dos pixels variam de -1 a 1, sendo 0 o limiar entre os alvos que são água e os que não são água. Portanto, pixels com valor igual ou menor que zero não são água ($NDWI \leq 0$), e pixels que possuem valor maior que 0 são água ($NDWI > 0$). Nesse sentido, na imagem gerada pelo NDWI, os corpos d'água são evidenciados, conferindo maior valor de brilho, enquanto as feições de solo e vegetação são minimizadas (GIL, 2019).

3.3.3 Índice de Vegetação Ajustado para o Solo (SAVI)

O SAVI é um índice de vegetação o qual constata que o brilho do solo, primordialmente em tons escuros é aumentado os valores dos IV's, especialmente para níveis de cobertura vegetal com aproximadamente 50% de cobertura verde. Em seu cálculo, é inserida uma constante “L”, com o intuito de reduzir a variação do solo no resultado final do índice e produzir isolinhas de vegetação mais independentes do solo. Para o cálculo

compreende-se as bandas do infravermelho próximo e do vermelho. E os valores de $L=1$ indicam baixa vegetação, $L=0,5$ apontam densidades médias de vegetação e $L=0,25$ correspondem a altas densidades vegetacionais (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010).

3.4 UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE R PARA MAPEAMENTO DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

Souza *et al.* (2012) denota que a utilização de pacotes estatísticos para analisar dados é de suma pertinência no que tange examinar e interpretar resultados. Porém, muitos apresentam custo de aquisição relativamente alto. Nesse contexto, o Software R surge como uma alternativa, pois apresenta domínio público, é de livre acesso e pode ser utilizado para analisar dados em geral. Ademais, o R apresenta código fonte, ou seja, ele pode ser modificado ou implementado com novos procedimentos desenvolvidos por qualquer usuário.

O ambiente R possui uma linguagem que é orientada a objetos, sendo criada no ano de 1996 por Ross Ihaka e Robert Gentleman que atrelada a um ambiente integrado possibilita a manipulação de dados, efetuação de cálculos e criação de gráficos. Porém, vale ressaltar que o R não é um programa estatístico, entretanto que devido as suas rotinas permite a avaliação, manipulação e interpretação de procedimentos estatísticos (SOUZA *et al.*, 2012).

O R vem ganhando destaque nas análises estatísticas, bem como na utilização de confecção de mapas. Possui todo o conteúdo da janela do console que pode ser salvo, marcado e eliminado usando os recursos do Windows e da barra de ferramentas. Tem sido bastante difundido quando é adotado para digitar programas que serão executados em uma janela denominada script (FERREIRA, 2013).

O Software apresenta diversas vantagens, tais quais: possui caráter gratuito, disponibilidade para um leque bastante variado de sistemas operacionais, além de possuir pacotes e bibliotecas escritos e desenvolvidos por pesquisadores das mais diferentes áreas do conhecimento. Ademais, vale salientar que o R se tornou uma linguagem popular para a programação de análise espacial e geocomputação (GUO *et al.*, 2016).

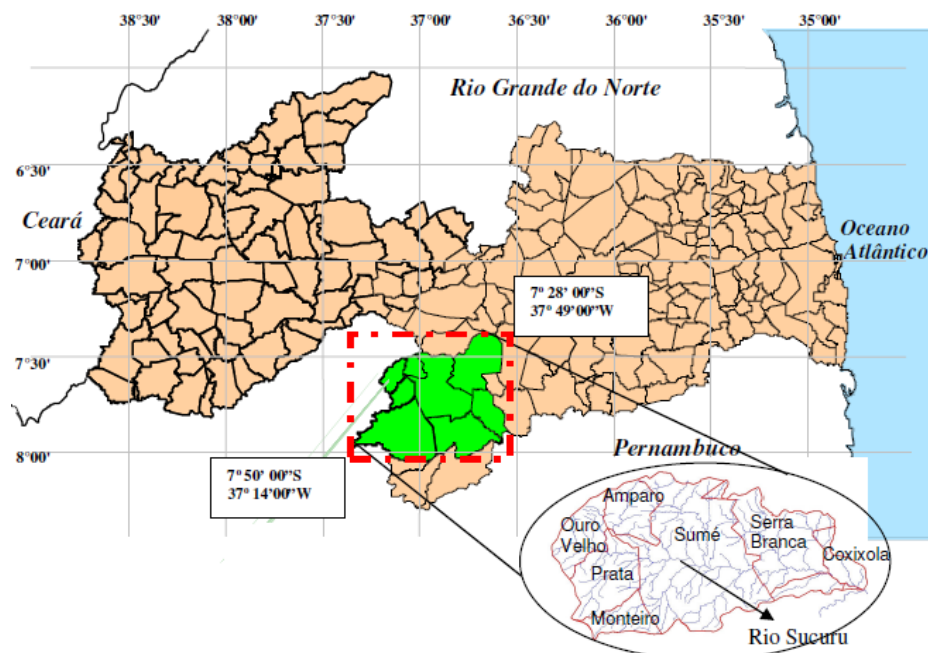
Um dos pacotes relevantes do ambiente R é o “Rstudio”, principalmente na versão Desktop Open Source License. Esse pacote possui um conjunto de ferramentas integradas que inclui um console, realce de sintaxe, como também variedade de instrumentos para plotar, visualizar, depurar e gerenciar o espaço de trabalho, primordialmente os plugins rgdal e raster, portanto, são ideais para a confecção de mapas (AMARAL; CESÁRIO, 2009).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia do Alto Rio Sucuru (Figura 1) está localizada no semiárido paraibano, na microrregião homogênea Cariris Velhos, com área territorial de aproximadamente 1.652,5 km²; engloba, total ou parcialmente, os municípios de Amparo, Monteiro, Ouro Velho, Prata, Sumé, Serra Branca e Coxixola. A área se encontra entre as coordenadas geográficas de 7°28'00" e 7°50'00" de latitude sul e 37°14'00" e 36°49'00" de longitude oeste (SANTOS *et al.*, 2009).

Figura 1 – Localização da área em estudo.



Fonte: (ALENCAR, 2008).

A bacia hidrográfica do principal açude da região, o açude de Sumé, está inserida totalmente nos municípios de Sumé, Monteiro, Prata, Ouro Velho e Amparo, sendo que, sua maior área está localizada na cidade de Sumé. Esta bacia possui 631 açudes distribuídos em 769 km², sendo que 620 açudes, ou seja, 98% dos reservatórios possuem área inferior a 20 ha (SANTOS *et al.*, 2009).

O principal rio da região é o Sucuru, estando a 5 km de distância da cidade de Ouro Velho; seu percurso, de oeste/leste, é interrompido pelo açude Sumé, a 2 km do município, e apresenta como principais afluentes o riacho da Prata, Jureminha, Salgadinho, Olho D'água e São Francisco (ALENCAR, 2008).

De acordo com a classificação de Gaussen, a área em estudo está sob a influência dos tipos climáticos 4aTh (tropical quente de seca acentuada), 2b (subdesértico quente de tendência tropical) e 3aTh (mediterrâneo quente ou nordestino de seca acentuada). De acordo com a classificação de Köppen, o clima predominante na região é do tipo Bsh (semiárido quente), com precipitações médias anuais baixas, em torno de 400 mm com estação seca que pode atingir até 11 meses. O índice de aridez de Thornthwaite para a bacia do Sucuru é de 0,22, que caracteriza o seu clima como semiárido (ALENCAR, 2008).

Considerando os meses com maior intensidade de chuvas, assim como os meses com menores precipitações pluviométricas, a região do Cariri paraibano, o trimestre chuvoso está relacionado com os meses de fevereiro-março-abril, já para o período trimestral mais seco, compreende os meses de agosto-setembro-novembro (SENA *et al.*, 2017).

Para Silva (1994), a geologia da região está representada pelo complexo gnaissico-migmatito e rochas granitóides, do pré-cambriano indiviso e do período quaternário, por sedimentos aluviais. A área de estudo compreende o Planalto da Borborema, correspondente à unidade morfológica Superfície do Planalto ou Superfície dos Cariris, apresentando domínio de relevo suave ondulado e ondulado, com altitudes variando de 380 a 500 m (BRASIL, 1972).

Na região de estudo predomina a caatinga hiperxerófila de porte arbóreo baixo ou arbóreo arbustivo, com destaque para as espécies do pereiro (*Aspidosperma pyrofolium* Mart–*Apocynaceae*), quixabeira (*Bumelia sertorum* Mart–*Sapotaceae*), xique-xique (*Pilocereus gounellei* weber–*Cactaceae*), aroeira (*Astronium urundeuva* Engl.–*Anacardiaceae*), baraúna (*Schinopsis brasiliensis* Engl.–*Anacardiaceae*), mandacaru (*Cereus Jamacaru* DC–*Cactaceae*) e marmeleiro (*Croton sp–euphorbiaceae*), além de apresentar uma concentração de cactáceas e bromeliáceas relativamente alta e com a presença marcante, a partir de 1980, da algarobeira (*Prosopis juliflora*–*SW. DC*) e leucena (*Leucena leucocephala*-*Lam. de Wit*) (BRASIL, 1972).

De acordo com Francisco (2010) na área ocorrem os Neossolos Litólicos Eutróficos, fase pedregosa substrato gnaisse e granito, e os Vertissolos apresentando relevo suave ondulado e ondulado, predominantemente nas partes mais baixas no entorno da drenagem, e os Planossolos Nátricos, relevo plano e suave ondulado, e a predominância de solos Luvisolos Crômicos bem desenvolvidos, em relevo suave ondulado.

A agricultura se baseia nas atividades agrícolas familiar, com o plantio de espécies como feijão macassar ou de corda (*Vigna unguiculata*) e o milho (*Zea mays*), ainda nas culturas de batata-doce, fava, algodão herbáceo, mamona, mandioca, tomate, feijão, banana,

coco, goiaba, manga e sisal. A pecuária está embasada na criação extensiva de rebanhos, caprino, bovino, ovino, suíno, equino, asinino e muares (ALENCAR, 2008).

4.2 PROCESSAMENTO DAS IMAGENS

Para a realização deste trabalho foram utilizadas 44 imagens do LANDSAT 8, sensor TM/OLI do ano de 2016 órbita/ponto 215/65. As imagens foram adquiridas junto ao site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS, 2016).

O processamento das imagens e a obtenção dos índices de vegetação (IV's) foram realizados no software "R", utilizando-se de pacotes específicos e criando-se rotinas matemáticas que denotaram os índices do IVDN, NDWI e SAVI.

Neste trabalho, adotaram-se as normas e parâmetros estabelecidos por Cunha *et al.* (2018), que utilizou os pacotes *raster*, *rgdal* e *maptools*, que foram usados para executar três sub-estágios do algoritmo. As funções *projectRaster*, *crop* e *resample* do pacote *raster* foram usadas para ajustar os dados de entrada. A função *cluster* foi usada para paralelizar partes do algoritmo.

Para a confecção dos mapas, foi utilizado "RStudio" versão *Desktop Open Source License*. O RStudio é um conjunto de ferramentas integradas que inclui um console, editor de realce de sintaxe que suporta execução direta de código e uma variedade de ferramentas robustas para plotagem, visualização de histórico, depuração e gerenciamento do espaço de trabalho, utilizando os *plugins*, *rgdal* e *raster* (AMARAL; CESÁRIO, 2009).

O IVDN foi determinado para cada imagem, a partir da Equação 1, sendo obtido pela razão entre a diferença das refletâncias do infravermelho próximo (P4) e do vermelho (P3) e a soma das mesmas refletâncias.

$$IVDN = \frac{P4 - P3}{P4 + P3} \quad (\text{Equação 1})$$

Para determinação do NDWI foi aplicado uma série de imagens, visando a análise da dinâmica temporal, posto que muitos elementos podem interferir na resposta espectral da água, permitindo estabelecer relações a bacia hidrográfica em estudo, além disso, utilizou-se a (Equação 2) para determinação do NDWI que consiste na razão entre a diferença das refletâncias do verde (P5) e do infravermelho próximo (P4) e a soma das mesmas refletâncias.

$$NDWI = \frac{P5 - P4}{P5 + P4} \quad (\text{Equação 2})$$

No cálculo do SAVI (Equação 3) é adicionada uma constante L, cujo o objetivo é minimizar o efeito do solo no resultado final do índice, visto que L= constante que pode variar entre 0 e 1, segundo o propositos os valores ótimos de L são: L = 1 (baixas densidades de vegetação), L = 0,5 (densidade médias de vegetação) e L = 0,25 (densidades altas de vegetação). Para a presente pesquisa foi adotado L = 1 em virtude de a região em estudo possuir baixas densidades de vegetação (HEUTE *et al.*, 1988).

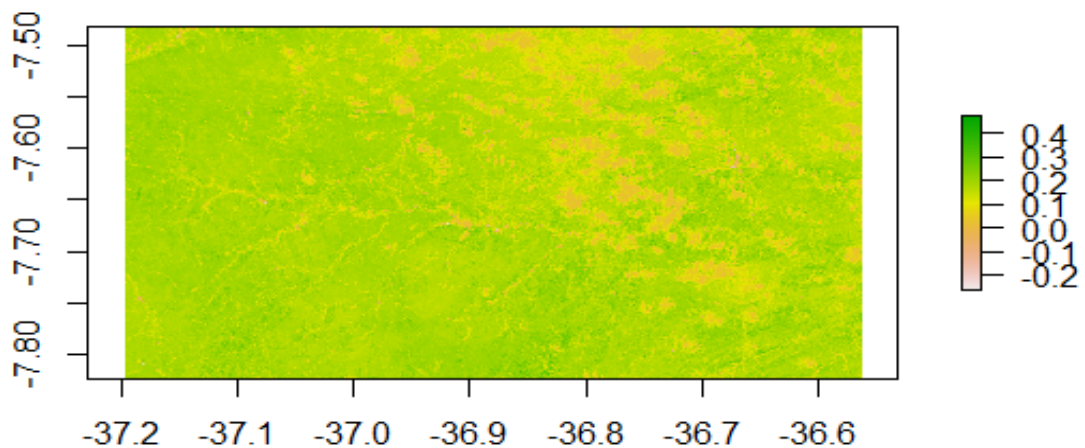
$$SAVI = \left(\frac{P4 - P3}{P4 + P3 + L} \right) x (1 + L) \quad (\text{Equação 3})$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (IVDN)

Nos Gráficos 2, 3 e 4 observa-se o IVDN para a bacia do rio Sucuru para o período seco. Pesquisando eventos extremos de precipitação no sertão paraibano, Sena *et al.* (2017) reportaram que, os trimestres chuvosos e secos para o Cariri Paraibano, correspondem aos meses de fevereiro-março-abril e agosto-setembro-outubro, respectivamente.

Figura 2 – Produto de IVDN para o período seco do ano de 2016.



Fonte: Acervo do Autor, 2019.

Para a época seca, os valores de IVDN variaram de um máximo de 0,4 a um mínimo de -0,2, sendo caracterizados como cobertura rala do solo e solo exposto, respectivamente. O resultado obtido neste trabalho com a classe de -0,2 a 0,4 configura o vigor da vegetação, e estão em consonância com Rosendo *et al.* (2007), quando apontaram que, o IVDN possui propriedade de variar entre -1,0 a +1,0, e quanto valores mais próximos de 1,0 maior é a densidade da cobertura vegetal.

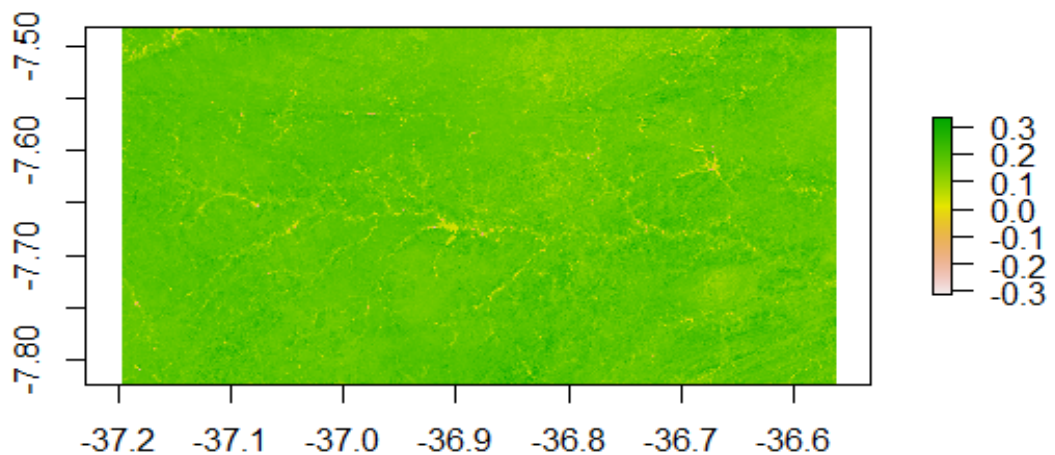
Conforme Silva e Galvínicio (2012), para a época seca, foi observado que o IVDN interfere nas respostas do solo, e, isso pode interferir nas respostas diferenciadas na cobertura vegetal devido a uma subestimativa. Os mesmos autores salientam, que o bioma Caatinga sofre influência do solo, portanto durante o período seco as áreas de solo exposto e susceptibilidade são as que apresentam maior fragilidade ambiental.

Comparando os resultados obtidos com Rosendo *et al.* (2007), constata-se que há predominância dos valores de -0,3 a 0,4, sendo assim, verifica-se que, prevalece a presença de

solo exposto e vegetação rala na área em estudo, respectivamente. Assim, corroborando com os resultados encontrados por Andrade *et al.* (2018) que avaliaram diferentes índices de vegetação no Sertão Pernambucano para os municípios de Exu e Moreilândia, os quais encontraram valores predominantes variando em torno de 0,17 a 0,41.

Mediante Demarchi *et al.* (2011) em sua pesquisa, no que tange aos tipos de vegetação, identificaram as classes dos pixel notadamente como região de açude valores de IVDN que variaram entre -1,0 a -0,1; área de solo exposto, para valores de -0,1 a 0,2; as regiões de cobertura rala do solo, dispõem-se nas classes de IVDN 0,2 a 0,4; alta densidade de cobertura vegetal valores variando em 0,4 a 0,5; a classe de IVDN 0,5 a 0,6 agrupou as matas nativas, enquanto a classe de 0,6 a 0,9 concentraram-se áreas de mata nativa com elevada cobertura vegetal.

Figura 3 – Produto de IVDN para o período seco do ano de 2016.



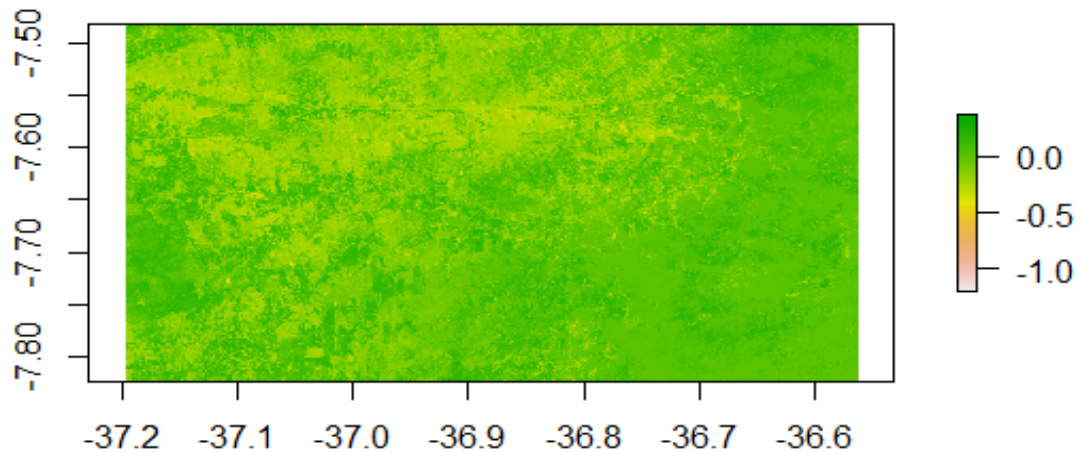
Fonte: Acervo do Autor, 2019.

Para a figura 3, os valores de IVDN máximo e mínimo variaram de 0,3 a -0,3, sendo caracterizados como cobertura rala do solo e solo exposto. Segundo Gandhi *et al.*, (2015) avaliando um estudo de caso no distrito de Vellore por meio do sensoriamento remoto (QGIS) constataram que o IVDN tem sido bastante utilizado para analisar a relação entre a variabilidade espectral e as mudanças nas taxas de crescimento da vegetação, bem como detectar as mudanças na vegetação.

Ainda para Gandhi *et al.*, (2015) os valores de IVDN variaram de um máximo de 0,5 a um mínimo de 0,1, no qual constataram que os valores mais baixos são encontrados nos solos menos vegetados, porque a reflexão no solo é alto e produz menores valores na faixa do infravermelho próximo e altos na faixa vermelha, portanto os valores do IVDN são baixos.

Na Figura 4 observa-se produto de IVDN para a bacia do rio Sucuru para o período úmido.

Figura 4 – Produto de IVDN para o período úmido do ano de 2016.



Fonte: Acervo do Autor, 2019.

Para o período úmido, os valores de IVDN variam de um máximo de 0 para um mínimo de -1,0, sendo caracterizados, respectivamente, como região de limite e região de açude. Para Gameiro *et al.* (2016) avaliando a cobertura vegetal na sub-bacia Hidrográfica do Baixo Jaguaribe–CE, os valores máximos de IVDN foram de 0,5 para o período úmido, devido à presença de vegetação com mais folhas na região, resultado de boa disponibilidade de água no solo, o que fez favorecer o desenvolvimento da vegetação nativa na área em estudo.

Há diferença de valores existentes entre os dois períodos se faz presente, primordialmente, pelo fato de a caatinga ser uma vegetação que perde as suas folhas na época seca, o que deixa de ser classificada como vegetação densa e passa a ser caracterizada como vegetação escassa e/ou solo exposto. Maldonado (2005) aponta que, para a caatinga, a radiância do infravermelho próximo é sempre superior que a do vermelho e que para o período seco, de forma similar, a radiância reduz com o aumento da biomassa, enquanto que, na época úmida, a diferença da radiância entre as bandas aumenta, em virtude da maior absorção da energia do vermelho pela fotossíntese com o aumento da biomassa e pela maior reflexão do infravermelho pela água de hidratação da folhagem.

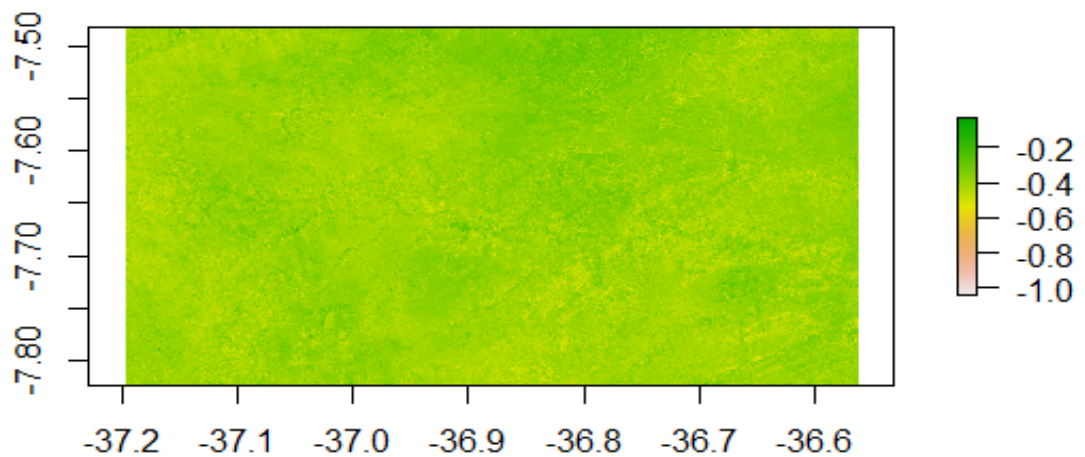
Conforme Pereira *et al.* (2016) o sensoriamento remoto por muitas vezes está atrelado a discriminação de um alvo com a resolução espacial do sensor. Para Silva (2003), alta resolução está interligada à maior discriminação dos elementos, logo a um número maior de

observações, no entanto o inverso também é válido, a baixa resolução está relacionada a uma pobre distinção dos objetos.

5.2 ÍNDICE DE ÁGUA POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDWI)

Nas Figuras 5 e 6 observam-se produtos de NDWI para a bacia do rio Sucuru para o período seco do ano de 2016.

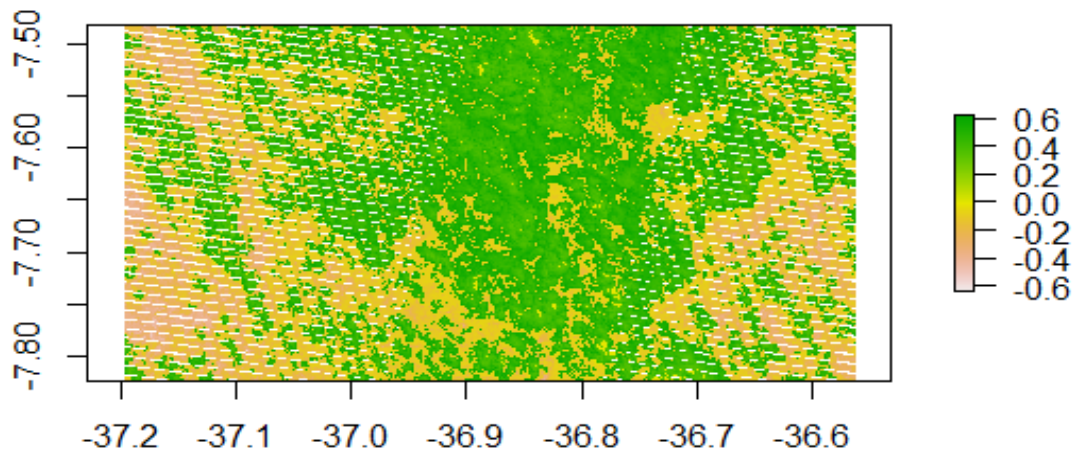
Figura 5 – Produto de NDWI para o período seco do ano de 2016.



Fonte: Acervo do Autor, 2019.

Os valores encontrados para o NDWI para o período seco, variam de um máximo de 0,2 a um mínimo de -1,0, sendo, portanto, classificados, respectivamente, caracterizados como áreas agricultáveis irrigadas ou cursos hídricos e vegetação seca ou solo exposto. Os resultados obtidos, corroboram com os de McFeeters (1996) onde os valores de NDWI variaram de -1,0 a +1,0, sendo 0 a zona de limite. Segundo Ferreira et al. (2012) para valores de NDWI negativos existem uma correspondência com vegetação seca, solo exposto e áreas urbanas, enquanto valores maiores de 0,0 foram identificadas como áreas com agricultura irrigada e cursos hídricos.

Figura 6 – Produto de NDWI para o período seco do ano de 2016.

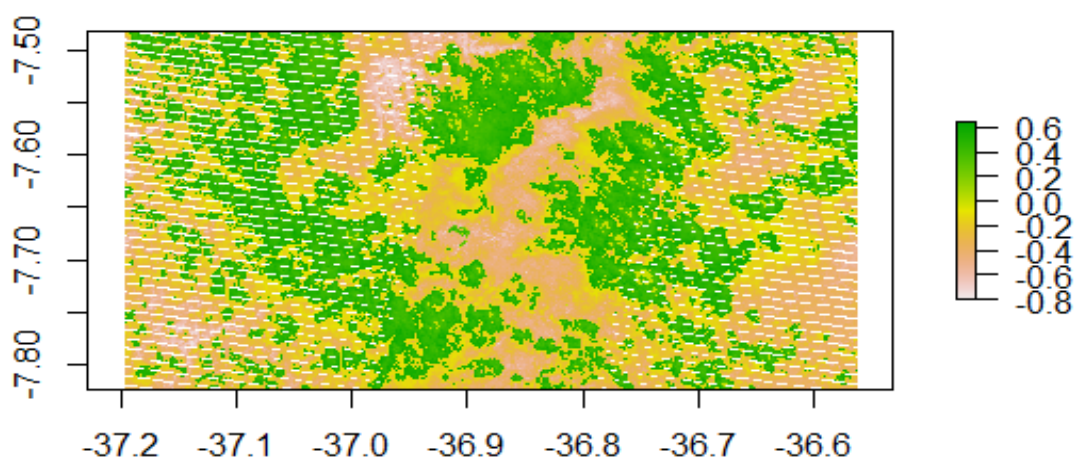


Fonte: Acervo do Autor, 2019.

Para a figura 6 os valores de NDWI variaram de um máximo de 0,6 a um mínimo de -0,6, sendo caracterizados como cursos d'água e áreas de agricultura irrigada e vegetação seca ou com presença de solo exposto, respectivamente. De acordo com Brenner e Guasseli (2015) identificando meandros ativos no leito do canal do rio Gravataí- RS, os valores de NDWI variaram de um valor máximo de 0,4 para um valor mínimo de -1,0, utilizando os softwares SAGA 2.1 e QGIS 2.4.

Nas Figuras 7 e 8 notam-se produtos de NDWI para a bacia do rio Sucuru para o período úmido.

Figura 7 – Produto de NDWI para o período úmido do ano de 2016.



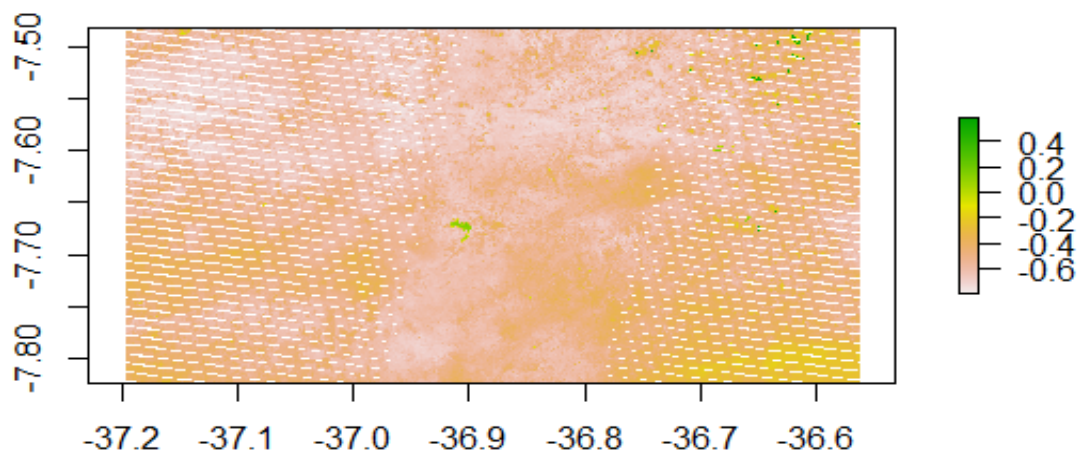
Fonte: Acervo do Autor, 2019.

Para o período úmido, os valores de NDWI variam de um máximo de 0,6 a um mínimo de -0,8, classificados, respectivamente, como vegetação seca ou solo exposto, como

também áreas agricultáveis irrigadas ou cursos hídricos. De acordo com Brenner e Guasseli (2015) é evidente ao se trabalhar com água, que a faixa do visível torna-se restrita, pois a partir do infravermelho a maior parte da resposta espectral da radiação da água é absorvida, no entanto a banda do verde, utilizada na equação do NDWI, há uma maior penetração da luz no fundo da água, o que possibilita uma maior discriminação dos alvos.

O NDWI tem a finalidade de delinear ambientes de águas abertas para automatizar a caracterização do limite entre água e terra, ou seja, vegetação terrestre e solos, possibilitando, mediante (MC FEETERS, 1996).

Figura 8 – Produto de NDWI para o período úmido do ano de 2016.



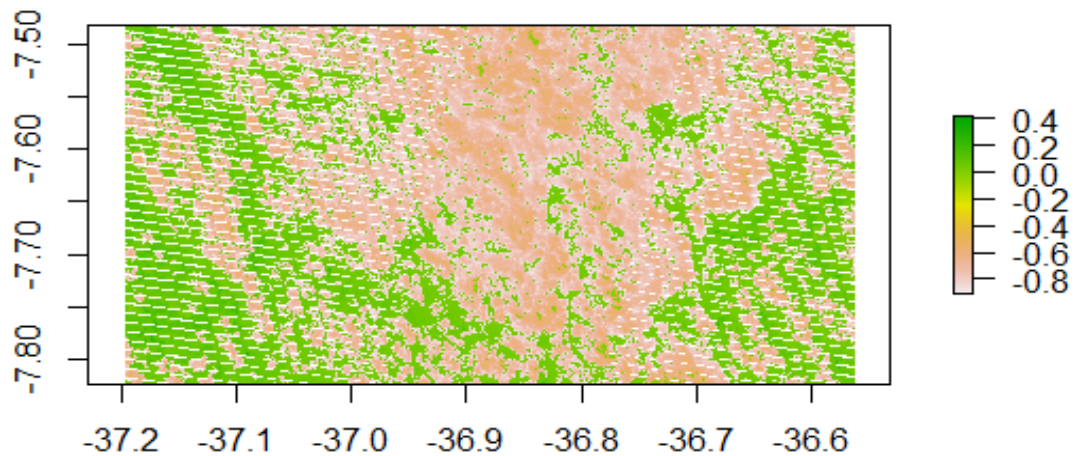
Fonte: Acervo do Autor, 2019.

Para a figura 8 os valores de NDWI variaram de um valor máximo de 0,4 a um valor mínimo de -0,6, sendo caracterizados como corpos d'água e áreas de solo exposto, respectivamente. Em pesquisa realizada por Pereira *et al.*, (2018) analisando métodos de NDWI em área úmida continental encontraram valores de NDWI para o método de Mc Feeters variando de -0,55 a -1,0, enquanto para o modelo de NDWI de Gao os valores de NDWI variaram de -0,65 a -1,0.

5.3 ÍNDICE DE VEGETAÇÃO AJUSTADO PARA O SOLO (SAVI)

As Figuras 9 e 10 apresentam-se os produtos do SAVI para a área de estudo no período seco.

Figura 9 – Produto de SAVI para o período seco do ano de 2016.



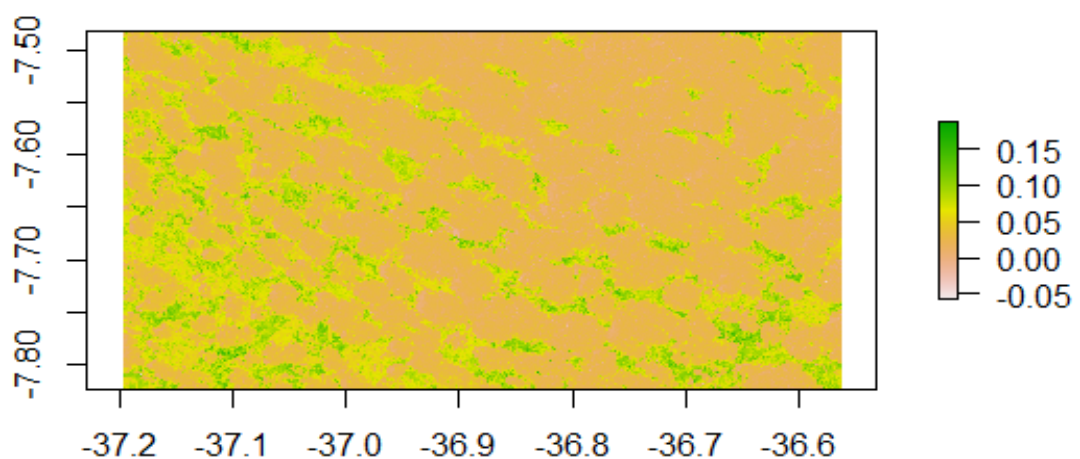
Fonte: Acervo do Autor, 2019.

Os valores para o período seco variam de um valor máximo de 0,4 a um valor mínimo de -0,8, sendo, portanto, respectivamente, caracterizados como vegetação densa na região em estudo e área construída, solo exposto ou corpos d'água. Para Sousa et al. (2007) valores próximos a -1,0 correspondem a uma área com nível de degradação muito grave.

O índice SAVI expressa valor que representa maior índice de vegetação quando estão mais próximos ao +1 correspondendo à vegetação mais densa representados, enquanto os valores que apresentam baixos índices de vegetação estão mais próximos do zero. Os valores negativos correspondem à área construída, solo exposto e corpos d'água (RÊGO, 2012).

Para Heute *et al.* (1988) este índice de vegetação, constata-se que o brilho do solo, principalmente em tons escuros aumenta o valor dos índices de vegetação, essencialmente para cobertura vegetal com aproximadamente 50% de a cobertura verde.

Figura 10 – Produto de SAVI para o período seco do ano de 2016.



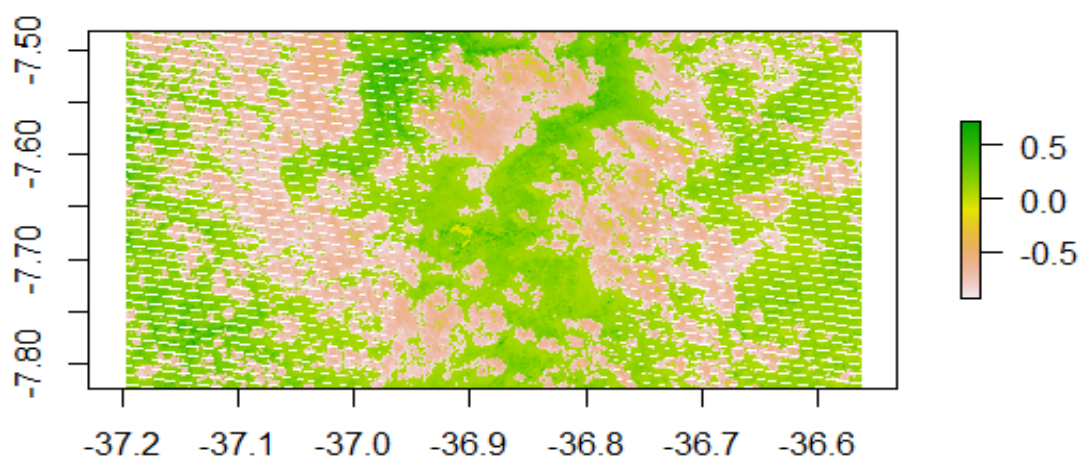
Fonte: Acervo do Autor, 2019.

Para a figura 10 os valores de SAVI variariam de um máximo e mínimo, respectivamente de 0,15 a -0,05, sendo caracterizados como vegetação densa e vegetação seca ou com presença de solo exposto na região em estudo. Para Boratto e Gomide (2013) avaliando a cobertura vegetal na região Norte de Minas Gerais com o Software QGIS encontraram valores variando de um valor máximo de 0,55 a um valor mínimo de -0,03 para a época seca em estudo.

Como demonstrado por alguns autores (Alves *et al.* 2014; Alves e Azevedo 2015; Silva e Galvíncio 2012) ambos compararam alguns IV's com o SAVI durante o período chuvoso e seco para a região semiárida e observaram que durante o período seco o SAVI respondeu melhor que outros índices de vegetação.

Nas Figuras 11 e 12 notam-se os produtos de SAVI para a bacia do rio Sucuru para o período úmido.

Figura 11 – Produto de SAVI para o período úmido do ano de 2016.

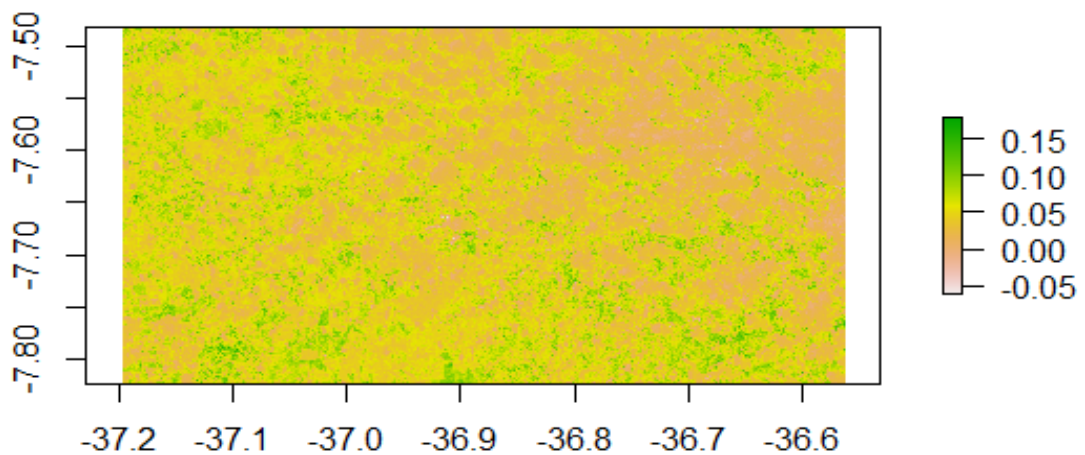


Fonte: Acervo do Autor, 2019.

Os valores para o período úmido variam de um valor máximo de 0,5 a um valor mínimo de -0,5, sendo assim, respectivamente, caracterizados como vegetação densa na região em estudo e presença de vegetação seca ou solo exposto ou de áreas construídas. Em pesquisa realizada por Gameiro *et al.* (2016) o SAVI apresentou valor de 0,7 para o período úmido, o qual consiste em um aumento da área verde, portanto, apresentando vegetação densa e intermediária, corroborando assim com a referida pesquisa. Boratto e Gomide (2013) encontraram valores de SAVI para o período úmido variando de -0,60 a 0,86, em estudo realizado na caracterização da cobertura vegetativa da região Norte de Minas Gerais.

Os resultados do SAVI apresentam semelhanças em relação aos resultados obtidos com os valores de IVDN, o que diferencia é o fato do SAVI possuir valores mais amplos em suas médias e, assim, destacando as características, tanto das regiões vegetadas quanto das não vegetadas, bem como dos corpos d'água. Em virtude das poucas diferenças para os resultados do SAVI e do IVDN, concomitantemente com o acréscimo do valor das classes no índice SAVI nos aponta que o fato desse índice eliminar os efeitos do solo, faz com que se tenha uma visão mais real da situação da área em estudo (GAMEIRO *et al.*, 2016).

Figura 12 – Produto de SAVI para o período úmido do ano de 2016.



Fonte: Acervo do Autor, 2019.

Para a figura 12 os valores de SAVI variaram de um valor máximo de 0,15 a um valor mínimo de -0,05, apontando respectivamente para áreas com vegetação densa e presença de vegetação seca, solo exposto ou corpos d'água. Para Vani e Mandla (2017) o SAVI é um complemento ao NDVI, onde a vegetação e a cobertura florestal estão presentes na terra que são cobertos por vegetação com um *pixel* de até 15%.

Para Ribeiro *et al.*, (2016) analisando as potencialidades do SAVI, adotando $L=1$, encontraram valores para o período úmido variando de um valor máximo de 0,80 a um valor mínimo de -0,29. O mesmo comportamento foram encontrados por Alves *et al.*, (2014) com $L=1$, o SAVI alterou de um valor máximo de 0,6 a um valor mínimo de 0 no período chuvoso.

Para Ribeiro *et al.*, (2016) o uso do SAVI no bioma Caatinga é mais apropriado que os demais índices de vegetação uma vez que o mesmo corrige os efeitos do solo na resposta espectral.

6 CONCLUSÕES

Para o período seco, o IVDN variou entre valores de -0,3 a 0,4, caracterizando, respectivamente como solo exposto e a presença de vegetação rala, enquanto para o período úmido os valores de IVDN variaram de 0,0 a -1,0, sendo, respectivamente, classificados como região limite e região de açude.

O NDWI para o período seco apresentou valores variando entre -1,0 a 0,6 e para o período úmido valores em torno de -0,8 a 0,6, apontando como área de solo exposto e com presença de áreas agricultáveis ou cursos hídricos, respectivamente.

O SAVI variou de -0,8 a 0,4 para o período seco, enquanto para a época úmida o SAVI apresentou valores máximo e mínimo, respectivamente -0,5 a 0,5 sendo, portanto, caracterizados para os dois períodos em estudo como vegetação densa e áreas de alta degradação.

A produção dos mapas de IVDN, NDWI e SAVI foram de extrema rapidez, quando comparado ao método comum, que utiliza apenas uma cena por vez, para a produção dos mapas dos diferentes índices de vegetações analisados.

REFERÊNCIAS

- ALENCAR, M. L. S. **Os sistemas Hídricos, o bioma Caatinga e o social na bacia do Rio Sucuru: Riscos e vulnerabilidades.** Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Departamento de Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2008.
- ALMEIDA, A. Q.; SILVA, G. F.; PEZZOPANE, J. E. M.; RIBEIRO, C. A. D. Enhanced Vegetation Index (EVI) na análise da dinâmica da vegetação da reserva biológica de Sooretama, ES. **Revista Árvore**, v.32, n.6, p.1099-1107, 2008.
- ALVES, T. L. B.; AZEVEDO, P. V.; SANTOS, C. A. C.; SANTOS, F. A. C. Comportamento Sazonal do Albedo e dos índices de vegetação na bacia hidrográfica do Alto curso do rio Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.7, p. 1015 – 1027, 2014.
- ALVES, T. L. B.; AZEVEDO, P. V., 2015. **Análise da variação espacial e temporal do índice de vegetação e sua relação com parâmetros climáticos na Bacia Hidrográfica do alto curso do rio Paraíba, estado da Paraíba, Brasil.** Boletim Goiano de Geografia [online] 35, n.3. Disponível <https://www.revistas.ufg.br/bgg/article/view/38842>. Acesso: 18 de outubro de 2019.
- AMARAL, M. R. S.; CESARIO, C. V. **Apostila do minicurso: Software R.** Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, 2009. Disponível em: <<https://www.ime.uerj.br/~mrubens/slae/minicursosoftwareR.pdf>> Acesso em: 05 de Agosto de 2019.
- ANDRADE, C. B.; OLIVEIRA, L. M. M.; OMENA, J. A. M.; VILLAR, A. C.; GUSMÃO, L.; ROGRIGUES, F. B. Avaliação de índices de vegetação e características fisiográficas no Sertão Pernambucano. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v.4, n.1, 2018.
- ANDRADE, R. G.; LEIVAS J. F.; GARÇON, E. A. M.; Silva, G. B. S.; LOEBMANN, D. G. S. W.; VICENTE, L. E.; BOLFE, E. L.; VICTORIA, D. C. Monitoramento de processos de degradação de pastagens a partir de dados Spot Vegetation. **Embrapa Monitoramento por Satélite-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, 2011.
- BHANDARI, A. K.; KUMAR, A.; SINGH, G. K. Feature Extraction using Normalized Difference Vegetation Index (IVDN): A Case Study of Jabalpur City. **Procedia Technology**, v. 6, 2012.
- BORATTO, I. M. P.; GOMIDE, R. L. Aplicação dos índices de vegetação IVDN, SAVI e IAF na caracterização da cobertura vegetativa da região Norte de Minas Gerais. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 16, 2013, Foz do Iguaçu. **Anais**. Foz do Iguaçu, 2013.
- BOTELHO, R. G. M.; DA SILVA, A. S. **Bacia hidrográfica e qualidade ambiental.** In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. Reflexões sobre a geografia física no Brasil. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. pp. 153-192, 2004.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. **Levantamento Exploratório–Reconhecimento dos Solos do Estado da Paraíba.** Rio de Janeiro: Convênio MA/CONTAP/USID/BRASIL (Boletim DFSS-EPE-MA, 15 – Pedologia, 8), 1972.

- BRENNER, V. C.; GUASSELLI, L. A. Índice de Diferença Normalizada da Água (NDWI) para identificação de meandros ativos no leito do canal do rio Gravataí/RS–Brasil. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2015, João Pessoa. **Anais**. João Pessoa, 2015.
- CHAGAS, M. das G. S. das; GALVÍNCIO, J. D.; PIMENTEL, R. M. de M., 2008. Avaliação da dinâmica espectral da vegetação da caatinga em Arcoverde, PE. **Revista de Geografia**, v. 25, n° 2, pp. 45-60.
- CRÓSTA, A. P.; ALMEIDA, T. I. de R.; PARADELLA, W. R.; SILVA, S. M. de P.; MENESES, P. R. **Sensoriamento remoto em exploração mineral no Brasil**. Recursos Minerais no Brasil problemas e desafios. Rio de Janeiro, 2016.
- CRUZ, M. A. S.; SOUZA, A. M. B.; JESUS, J. S. Avaliação da cobertura vegetal por meio dos índices de vegetação SR, IVDN, SAVI e EVI, na bacia do rio Japarutuba-Mirim em Sergipe. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2011, Curitiba. **Anais**. Curitiba, 2011.
- CUNHA, J. E. B. L.; PEREIRA, T. E.; PEREIRA, E.; RUFINO, I. A. A.; GALVÃO, C. O.; VALENTE, F.; BRASILEIRO, F. A. High-throughput shared service to estimate evapotranspiration using LANDSAT imagery. **Environmental Modelling & Software**, 2018.
- DELUQUE, S. M. L. A Educação Ambiental e os Aspectos Legais e Institucionais para a Proteção e Preservação dos Recursos Hídricos na Bacia do Alto Paraguai. **Anais: 2º Simpósio de Recursos Hídricos do Centro Oeste**. Campo Grande, 2002.
- DEMARCHI, J. C.; PIROLI, E. L.; ZIMBACK, C. R. L. Análise temporal do uso do solo e comparação entre os índices de vegetação IVDN e SAVI no município de Santa Cruz do Rio Pardo–SP usando imagens LANDSAT 5. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v.21, p 234-27, ISSN: 2177-2738, 2011.
- ENCINA, C. C. C.; MARQUES, M. R.; DIODATO, M. A.; PEREIRA, L. E.; ALBREZ, E. A.; OLIVEIRA, A. P. G.; MIOTO, C. L.; MIRANDA, V. R.; MIRANDA, L. M.; COELHO, L. S.; DALMAS, F. B.; PARANHOS FILHO, A. C. Geotecnologias aplicadas à análise ambiental da bacia hidrográfica do Rio Olho d'Água, município de Jardim, Mato Grosso do Sul – Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências**, v.41, p.577-584, 2018.
- FERREIRA JUNIOR, J. J.; DANTAS, M. J. F. Análise do albedo da superfície e de índices de vegetação por sensoriamento remoto na bacia hidrográfica do Rio Pacoti/CE. **Revista Tecnológica**, e-ISSN: 2318-0730, 2018.
- FERREIRA, D. F. **Estatística computacional utilizando R**. Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciências Exatas. Pag. 125, 2013.
- FERREIRA, J. M. S.; FERREIRA, H. S.; SILVA, H. A.; SANTOS, A. M.; GALVÍNCIO, J. D. Análise espaço-temporal da dinâmica da vegetação da caatinga no município de Petrolina-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 5, n. 4, p.904-922, 2012.
- FRANCISCO, P. R. M. **Classificação e mapeamento das terras para mecanização do Estado da Paraíba utilizando sistemas de informações geográficas**. 122f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água). Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2010.
- FREITAS, T. C. M.; ÁVILA, E. F. S. E SILVA, K. R. C. L. Modelo Participativo para a Formação de Comitês de Bacia Hidrográficas no Estado do Mato Grosso do Sul. **Anais: 2º Simpósio de Recursos Hídricos do Centro Oeste**. Campo Grande, 2002.
- GAMEIRO, S.; TEIXEIRA, C. P. B; SILVA NETO, T. A.; LOPES, M. F. L.; DUARTE, C. R.; SOUTO, M. V. S; ZIMBACK, C. R. L. Avaliação da cobertura vegetal por meio de

índices de vegetação (IVDN, SAVI e IAF) na sub-bacia hidrográfica do Baixo Jaguaribe, CE. **Revista Terrae**, v.13, 13(1-2):15-22, 2016.

GANDHI, M. G.; PARTHIBAN, S.; THUMMALU, N.; CHRISTY, A. Ndvi: Vegetation change detection using remote sensing and gis – A case study of Vellore District. **Revista Procedia Computer Science** 57, 1199 – 1210, 2015.

GIL, A. P.; PADOVANI, C. R.; COELHO, A. L. N. **Comparação entre NDWI e MNDWI para o mapeamento de áreas inundadas no pantanal do Taquari**. Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Santos-SP, 2019.

GUO, D.; WESTRA, S.; MAIER, H. R. An R package for modelling actual, potential and reference evapotranspiration. **Environmental Modelling & Software**, v.78, p.216–224, 2016.

HUETE, A. R. A. Soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v.25, p.295-309, 2016.

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

KARABURUN, A. Estimation of C factor for soil erosion modeling using IVDN in Buyukcekmece watershed. **Ozean journal of applied sciences**, 2010.

KARNIELI, A.; GABAI, A.; ICHOKU, C.; ZAADY, E.; SHACHAK, M. Temporal dynamics of soil and vegetation responses in a semi-arid environment. **International Journal of Remote Sensing**, v.23, n.19, p.4073-4087, 2002.

MAGALHÃES, I. A. L.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; SANTOS, A. R. Análise comparativa entre técnicas de sensoriamento remoto para mensuração da vegetação urbana no município de Alegre, ES. **Revista Cerrados**, v.15, n.1, p.156-177, 2017.

MALDONADO, F. D. **Desenvolvimento e avaliação de uma metodologia de detecção de mudanças na cobertura vegetal do semiárido**. 311p. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto). São José dos Campos, 2005.

MARTINA, L. Satélites meteorológicos: A nova geração de satélites pretende ajudar ainda mais na coleta de dados meteorológicos. **Revista Meteorológica**. Natal, 2015.

MCFEETERS, S. K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. **International Journal of Remote Sensing**, v.17, n.7, p.1425-1432, 1996.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, de T. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília, 2012.

NOVAIS, L.R.; LIMA, A. da C.; RODRIGUES, J. A.; COSTA, A. M. dos S.; BORGES, E. F.; ANJOS, C. S. Análise da vegetação da Área de Preservação Ambiental de São Desidério-BA, a partir do IVDN e NDWI. In: **Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)**, INPE, pp. 1888-1894, 2011.

PEREIRA, L. E.; LASTORIA, G.; PARANHOS FILHO, A. C. P.; MARCATO JÚNIOR, J. M. Application techniques of digital image processing in different orbital sensors. **Anuário do Instituto de Geociências**, v.39, n.3, p.15-24, 2016.

PEREIRA, L. E.; AMORIM, G.; GRIGIO, A. M.; PARANHOS FILHO, A. C. Análise Comparativa entre Métodos de Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI) em Área Úmida Continental. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**. ISSN 0101-9759 e-ISSN 1982-3908 - Vol. 41 - 2 / 2018 p. 654-662, 2018.

- PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. 2010. ed. São José dos Campos: Parêntese, 2010.
- PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento Remoto da Vegetação**. Oficina de Textos, pag. 176, 2012.
- POVOA, L. V.; MANZIONE, R. L.; WENDLAND, E. C. Rotinas para análises geoestatísticas utilizando a linguagem R: Um exemplo com dados agroambientais. **Anais: II Simpósio de Geoestatística em Ciências Agrárias**, ISSN: 2236-2118, 2011.
- PRIESS, J. A., HAUCK, J. Integrative scenario development. **Ecology and Society** 19(1): 12, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5751/ES-06168-190112>>.
- QUEIROZ, H. A. de A. **Classificação da faixa litorânea através do índice de vegetação IVDN e sua correlação com a vulnerabilidade à erosão costeira**. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.
- RÊGO, S. C. A.; LIMA, P. P. S.; LIMA, M. N. S.; MONTEIRO, T. R. R. Análise comparativa dos índices de vegetação IVDN e SAVI no município de São Domingos do Cariri-PB. **Revista Geonorte**, v.2, n.4, p.1217–1229, 2012.
- RIBEIRO, G. de A.; SILVA, J. N. de C.; da SILVA, J. B. Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (IVAS): estado da arte e suas potencialidades. **Revista Brasileira de Geografia Física** v.09, n.06, p. 2054-2074, 2016.
- RISSMAN, A. R., CARPENTER, S. R.. **Progress on nonpoint pollution: barriers and opportunities**, 2015.
- ROSENDO, S. J.; ROSA, R. Análise da detecção de mudanças no uso da terra e cobertura vegetal utilizando a diferença de índices de vegetação. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2007, Florianópolis. **Anais**. Florianópolis, 2007.
- SALLES, P. S. B. DE A. Comitê de Gestão da Bacia do Paranoá. In: FONSECA, F. O. (org). **Olhares Sobre o Lago Paranoá. Brasília: Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos**, p. 296 – 307, 2001.
- SANTOS, F. A. DOS; SILANS, A. M. B. P. DE; PORTO, R. DE Q.; ALMEIDA, C. DAS N. Estimativa e análise do volume dos pequenos açudes através de imagem de satélite e levantamento de campo na bacia hidrográfica do açude Sumé. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2009, Campo Grande. **Anais**. Campo Grande, 2009.
- SENA, J. P. DE O.; LUCENA, D. B.; RIBEIRO, G. N. Eventos extremos de precipitação no sertão paraibano: Variação espaço-temporal. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.12, n.4, p.748–755, 2017.
- SETTI, A. A.; LIMA, J. E. F. W.; CHAVES, A. G. DE M.; PEREIRA, I. DE C. **Introdução ao Gerenciamento de Recursos Hídricos**. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica e Agência Nacional de Águas, pag. 326, 2001.
- SILVA, A. R.; TOMASIELLO, D. B.; PRADO, B. R.; VIEIRA, M. A.; BARBARISI, B. F.; ORTIZ M. J. Extração da cobertura vegetal de áreas urbanas utilizando imagens do satélite Geoeye-1. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2011, Curitiba. **Anais**. Curitiba, 2011.
- SILVA, F. H. B. **Caracterização dos padrões de drenagem a partir de técnicas de sensoriamento remoto para uso em levantamentos de reconhecimento (Alta intensidade)**

de solos. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Departamento de Engenharia Agrícola. Universidade Federal da Paraíba. Campina Grande, 1994.

SILVA, J. F.; DINIZ, J.; BORTOLUZZI, M. A. **Minicurso de Estatística Básica: Introdução ao software R. Programa de Educação Tutorial - Engenharia Elétrica** - Universidade Federal de Santa Maria. Disponível em: <http://www.uft.edu.br/engambiental/prof/catalunha/arquivos/r/r_bruno.pdf>. Acesso em: 24 de julho de 2019.

SILVA, L. G.; GALVÍNIO, J. D. Análise Comparativa da Variação nos Índices IVDN e SAVI no Sítio PELD – 22, em Petrolina – PE, **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.6, p.1446-1456, 2012.

SILVEIRA, A. L. L. **Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica.** In: Hidrologia: Ciência e aplicação. 4. ed. UFRGS, Cap. 2, p.35-51, 2009.

SOUSA, R. F.; BARBOSA, M. P.; SOUSA, S. P.; GUIMARÃES, C. L. Estudo da degradação das terras do município de São Domingos do Cariri - Estado da Paraíba. **Caminhos da Geografia**, v.8, n.22, p.130-136, 2007.

SOUZA, E. F. de M.; PETERNELLI, L. A.; MELLO, M. de L. **Software Livre R: aplicação estatística.** São Paulo, 2012.

USGS. **United States Geological Survey.** Disponível em: <[https:// www.usgs.gov/](https://www.usgs.gov/)> Acesso em: 24 nov. 2016.

VANI, V.; MANDLA, V. R. Comparative study of ndvi and savi vegetation indices in anantapur district semi-arid áreas. **International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)**, v.8, p.559-566, 2017.

VIÑA, A.; GITELSON, A. A.; ROBERTSON, A. L.; PENG, Y. Comparison of different vegetation indices for the remote assessment of green leaf area index of crops. **Remote Sensing of Environment**, v.115, n.12, p.3468–3478, 2011.