



Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Campus Mossoró
Curso de Ecologia

KAIO CESAR DE CARVALHO MENEZES

ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA MATA CILIAR NO PERÍMETRO ESTUARINO DO RIO JAGUARIBE/CE

MOSSORÓ-RN

2020

KAIO CESAR DE CARVALHO MENEZES

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA MATA CILIAR NO PERÍMETRO
ESTUARINO DO RIO JAGUARIBE/CE**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Campus Mossoró para a obtenção do título de Ecólogo.

Orientador(a): Paulo César Moura da Silva.

MOSSORÓ-RN

2020

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido.O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

M543a Menezes, Kaio Cesar de Carvalho Menezes
ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA MATA CILIAR NO
PERÍMETRO ESTUARINO DO RIO JAGUARIBE/CE / Kaio
Cesar de Carvalho Menezes. 2020.
42 f. : il.

Orientador: Paulo César Moura da Silva.
Monografia (graduação) – Universidade Federal
Rural do Semiárido, Curso de Ecologia, 2020.

1. Sensoriamento remoto. 2. Índice de
vegetação. 3. Landsat. 4. Vegetação.
I Silva, Paulo César Moura da Silva, oriente. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

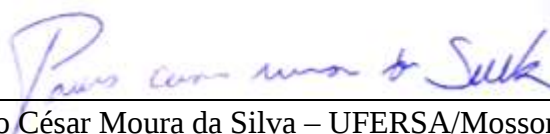
KAIO CESAR DE CARVALHO MENEZES

ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA MATA CILIAR NO PERÍMETRO ESTUARINO DO RIO JAGUARIBE/CE

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Campus Mossoró para a obtenção do título de Ecólogo.

APROVADO EM: 11 / 12 / 2020

BANCA EXAMINADORA



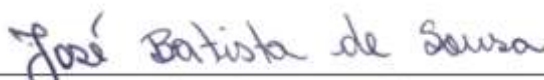
Prof. Dr. Paulo César Moura da Silva – UFERSA/Mossoró-RN

Presidente



Prof^a. Dr^a. Daniela da Costa Leite Coelho – UFERSA/Mossoró-RN

Primeiro Membro



Msc. José Batista de Sousa

Segundo Membro

“Só obedecendo-a se domina a natureza.

Sir Francis Bacon

RESUMO

A mata ciliar é um recurso natural que age como ferramenta para redução do assoreamento e minimização da deterioração dos rios e riachos, sendo classificada como ecótono, uma zona de transição do ambiente aquático para o terrestre que regula a transferência de energia e nutrientes entre esses ecossistemas. As modificações neste ambiente são proibidas conforme a Lei do Código Florestal de N° 12.651/2012. Logo, este trabalho traz como objetivo uma análise espaço-temporal da mata ciliar no perímetro estuarino do Rio Jaguaribe/CE, através da utilização das ferramentas de sensoriamento remoto no período histórico que vai de 1999 a 2019. Como objetivo específico, procurou-se realizar uma avaliação da aplicabilidade dos índices de vegetação escolhidos para a região estudada. Para as análises da área de estudo foram utilizadas imagens do satélite Landsat (5, 7 e 8). A realização das classificações supervisionadas das imagens foi dada através do plugin *Semi-Automatic Classification Plugin*, no software QGIS, versão 3.4.12-Madeira. Resultando em quatro classes, Vegetação densa; Vegetação esparsa, Solo exposto e Corpos aquáticos, onde foram geradas através dos índices de vegetação (NDVI e SAVI). Ao longo das duas décadas estudadas, percebeu-se uma alteração dos valores gerados pelos índices durante a série temporal, ficando evidente a função do fator de correção que o SAVI proporciona aos valores do NDVI. Para vegetação densa os maiores valores gerados pelos índices foram; 0.84 (NDVI) e 0.66 (SAVI). O solo exposto apresentou seus maiores valores para os índices de 0.17 (NDVI) e 0.25 (SAVI). Quando avaliou-se as áreas de ocupação de cada índice percebeu-se que, para a vegetação densa, ambos os índices reduziram suas áreas. Para a classe vegetação esparsa foram obtidos valores de área com padrão inverso entre os índices, dentro de toda avaliação temporal. Na classe solo exposto, os valores de área dos índices apresentaram um comportamento diferente das classes anteriores, apresentando um grande destaque para o SAVI em toda avaliação temporal. Contudo, foi possível observar a dinâmica que a mata ciliar apresenta quanto ao vigor e a área de ocupação dentro do período estudado, como também à aplicabilidade dos índices de vegetação no processo de análise espacial-temporal. Conclui-se que a mata ciliar está propícia a sofrer impactos, naturais ou antrópicos, desta forma é necessário entender cada vez mais sobre o que afeta essa vegetação diante do que ela nos propicia.

Palavras-chaves: Sensoriamento remoto. Índices de vegetação. Landsat. Vegetação.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização da área do estudo.	13
Figura 2: Normal climatológica, apresentada pela precipitação média histórica mensal (PMHM) e precipitação média histórica anual (PMHA), para 46 anos de chuva.	21
Figura 3: Precipitação total acumulada para cada ano da série histórica e precipitação média da série histórica.	22
Figura 4: Mapas gerados através da aplicação do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) para a série temporal analisada.....	23
Figura 5: Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), representando às três categorias analisadas.....	24
Figura 6: Mapas gerados através da aplicação do Índice de Vegetação Ajustado ao solo (SAVI) para a série temporal analisada.	25
Figura 7: Índice de Vegetação Ajustado ao solo (SAVI), representando às três categorias analisadas.....	26
Figura 8: Área de ocupação dos índices NDVI e SAVI para a classe de vegetação densa em km ²	27
Figura 9: Área de ocupação dos índices NDVI e SAVI para a classe de vegetação esparsa em km ²	29
Figura 10: Área de ocupação dos índices NDVI e SAVI para a classe solo exposto em km ²	30
Figura 11: Perímetro estuarino do Rio Jaguaribe entre os municípios de Itaiçaba, Aracati e Fortim no ano de 2020.....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características das imagens obtidas do satélite Landsat.	17
Tabela 2: Ocupação dos índices para a classe de vegetação densa na série histórica em % e Km ²	28
Tabela 3: Ocupação dos índices para a classe de vegetação esparsa na série histórica em % e Km ²	30
Tabela 4: Ocupação dos índices para a classe solo exposto na série histórica em % e Km ²	31

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

APP	Área de Preservação Permanente
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NDVI	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
PDI	Processamento Digital das Imagens
PPDI	Pré-processamento Digital das Imagens
PMA	Precipitação Média anual
PMHA	Precipitação Média Histórica Anual
PMHM	Precipitação Média Histórica Mensal
SAVI	Índice de Vegetação Ajustado ao Solo
SCP	Semi-Automatic Classification Plugins
SEMACE	Superintendência Estadual do Meio Ambiente
SIGs	Sistemas de Informação Geográfica
SRH-CE	Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará
USGS	United States Geological Survey

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	9
2 MATERIAS E MÉTODOS	13
2.1 ÁREA DE ESTUDO	13
2.1.1 Caracterização geológica e geomorfológica	14
2.1.2 Vegetação	14
2.1.3 Características Hidroclimáticas.....	14
2.1.4 Caracterização e classificação dos estuários	15
2.1.5 Tensores de Origem Antrópica	15
2.1.6 Definição da Área de estudo	16
2.2 COLETAS DE DADOS	16
2.3 ANÁLISES DE DADOS	18
3 RESULTADOS	21
3.1 NORMAL CLIMATOLÓGICA E PRECIPITAÇÃO ACUMULADA POR ANO	21
3.2 ANÁLISE DA APLICAÇÃO DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO NDVI E SAVI NA DINÂMICA TEMPORAL DO PERÍMETRO ESTUARINO DO RIO JAGUARIBE/CE	22
3.3 ANÁLISE DA ÁREA DE OCUPAÇÃO DAS CLASSES NA DINÂMICA TEMPORAL DO PERIMETRO ESTUARINO DO RIO JAGUARIBE/CE.....	26
4 DISCUSSÃO	32
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	37
REFERÊNCIAS	38

1 INTRODUÇÃO

A mata ciliar é um sistema florestal que ocorre no entorno de lagos e lagoas, nas margens de riachos e rios e suas nascentes, estabelecida de forma natural de modo a propiciar proteção aos cursos d'água. Esse recurso natural age como importante ferramenta para reduzir assoreamento e minimizar a deterioração destes ambientes, possibilitando ainda a potencialização dos processos que possibilitam a diversidade ambiental que ocorre nestes lugares (DURIGAN, 1999).

A mata ciliar é classificada ainda como um ambiente ecótono, ou seja, uma área de transição entre o ecossistema terrestre e o aquático, sofrendo influência de ambas e tendo como papel diante dessa mudança de ambiente a regulação e a transferência de nutrientes e energia entre os ecossistemas (LIMA, 1998).

Desta forma, essa vegetação representa um importante elemento da paisagem no suporte e equilíbrio das relações intrínsecas do ecossistema onde está situada (DURIGAN, 1999), criando proteção para os recursos hídricos, possibilitando uma integridade às áreas adjacentes e possibilitando o fluxo gênico através da sua funcionalidade de corredor ecológico para a fauna e flora (LIMA, 2000).

A modificação da mata ciliar feita pelo homem causa uma série de danos e é proibida pela legislação federal desde 1965, denotada como crime ambiental devido categorizar-se como Área de Preservação Permanente (APP), segundo a Lei de N° 12.651/2012 do novo Código Florestal.

Diante da falta de planejamento dos municípios e o descumprimento das leis que regem o meio ambiente, o rio Jaguaribe, no estado brasileiro do Ceará (CE), vem sofrendo alterações nos seus cursos e nas suas matas ciliares, tendo como os principais influenciadores a carcinicultura, que ganhou destaques nas últimas duas décadas, como também algumas culturas irrigadas (FIGUERÊDO, 2004), somado ainda com o crescimento das cidades de forma desordena que ocupa as margens do rio e o desmatando da mata ciliar para uso de madeira.

Essa região apresenta grande valor social e econômico, devido às diversas atividades ali produzidas, apresentando um grande atrativo turístico pelas suas paisagens cênicas, o que

acarreta no aumento constante da especulação imobiliária, apresentando ainda uma forte comunidade ribeirinha que usufrui da pesca artesanal.

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2012), as condições climáticas, alinhadas com a exploração e a falta de adequadas práticas agrícolas, degradam este ambiente de transição e promovem o assoreamento dos rios devido à erosão do solo. Essa condição tende a se agravar com a ausência de dados que apresentem a cobertura vegetal e sua distribuição, impossibilitando a observação de tendências das áreas protegidas bem como da expansão antrópica.

Diante desta realidade, as tecnologias espaciais estão ganhando cada vez mais destaque, possibilitando um aumento de produtividade e possibilidades nos mais diversos estudos. Na área ambiental, ela se apresenta como uma ferramenta de grande importância, principalmente para o desenvolvimento de trabalhos que buscam uma análise espacial e temporal através de imagens digitais adquiridas de satélites.

De posse dessas imagens, pode-se utilizar o sensoriamento remoto, conjunto de ferramentas de coleta, recuperação, transformação, armazenamento e visualização de informação do mundo real (BURROUGH, 1998). Com o uso do sensoriamento remoto, é possível estudar e monitorar grandes áreas sem a necessidade de contato direto, o que permite o desenvolvimento de trabalhos que mostrem a importância da mata ciliar para os ecossistemas e a biodiversidade que nela vive, compreendendo a atual situação de uso antrópico dessas Áreas de Preservação Permanente (APP's).

Desta forma, avaliar o ocorrido no espaço e no tempo do perímetro estuarino do rio Jaguaribe/CE, apresenta-se como uma forma clara e eficiente de entender a dinâmica que essa vegetação ciliar está apresentando, tendo em vista as progressivas mudanças antrópicas impulsionadas nas últimas duas décadas.

Portanto, as ferramentas de sensoriamento remoto podem auxiliar na busca de um melhor retrato espaço-temporal da região. Batista (2013) retrata a importância da utilização do sensoriamento remoto através das imagens de satélites, possibilitando o monitoramento das regiões com um baixo custo envolvido, uma alta eficiência e rapidez na aquisição de resultados.

Diante das grandes possibilidades que a ferramenta de sensoriamento apresenta, os índices que avaliam a vegetação ganham grandes destaques por avaliarem a resposta espectral

das vegetações em relação ao solo (FERNANDES, 2016), diversas possibilidades de agrupamentos de bandas espectrais são desenvolvidas para realçar o espectro do componente vegetal (EPIPHANIO, 1996), possibilitando a exploração dos parâmetros biofísicos, como área foliar, biomassa, vigor vegetativo e densidade, o que possibilita a compreensão dos processos de crescimento ou retração das vegetações analisadas (AMORIM, 2019).

Basicamente, a utilização dos índices consiste em uma aplicação matemática nos valores das radiações refletidas, nesse contexto os comprimentos de onda do espectro do visível, vermelho, infravermelho próximo, verde e azul. Dentro dos índices mais aplicados para estudos dessa característica, apresenta-se como destaque o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) apresentado por (ROUSE et al., 1973), demonstrando-se sensível a condição da vegetação verde e apresentando boa resposta quanto a irregularidade da topografia (ROSENDO, 2007). Este índice é um indicador dessas condições e apresenta valores que vão de -1 a +1, relacionados a condição da vegetação verde do lugar estudado.

Silva et al. (2009) obteve boas respostas com a aplicação deste índice na região de manguezal da microrregião de Itamaracá-PE, comprovando a aplicabilidade do NDVI para área de solo e vegetação semelhantes.

O Índice de Vegetação Ajustado ao solo (SAVI) (HUETE, 1988), propõe uma correção na interferência que os ruídos do solo podem produzir ao NDVI (JANSEN, 2009), influenciando de forma mais severa em áreas com vegetação menos densas, logo, aplica-se um fator de correção da cobertura de solo, representado por L, onde assume-se valores conforme as características da vegetação local, onde, L=0 representa igualdade ao NDVI, L=0,25 é indicado para vegetação densa, L=0,50 para uma vegetação intermediária, L=1 é utilizado para vegetações com baixas densidades.

Portanto, visando buscar informações que tragam subsídios para solucionar à problemática das futuras modificações espaciais na região da vegetação ciliar do trecho estuarino do Rio Jaguaribe/CE, buscou-se entender como essa vegetação respondeu às pressões ali existentes nas últimas duas décadas, tendo em vista o aumento das atividades de carcinicultura em todo o seu perímetro, a crescente valorização imobiliária, a utilização turística da região e o desmatamento ilegal por madeira.

Informações sobre mata ciliar são de grande importância, diante do papel que desempenham para a biodiversidade e para o homem, portanto, testou-se a hipótese que a

vegetação ciliar do trecho estuarino do rio Jaguaribe apresenta uma mudança espaço-temporal, tendo em vista as pressões que a mesma recebe. Acreditando que ao corroborar esta hipótese estaremos gerando subsídios para novos trabalhos em relação ao tema, como também políticas públicas que possam amenizar o problema.

Diante do exposto até o momento, este trabalho apresenta como objetivo realizar uma análise espaço-temporal da mata ciliar no perímetro estuarino do Rio Jaguaribe/CE, através da utilização das ferramentas de sensoriamento remoto no período histórico que vai de 1999 a 2019. Como objetivo específico, procurou-se realizar uma avaliação da aplicabilidade dos índices de vegetação escolhidos para a região estudada.

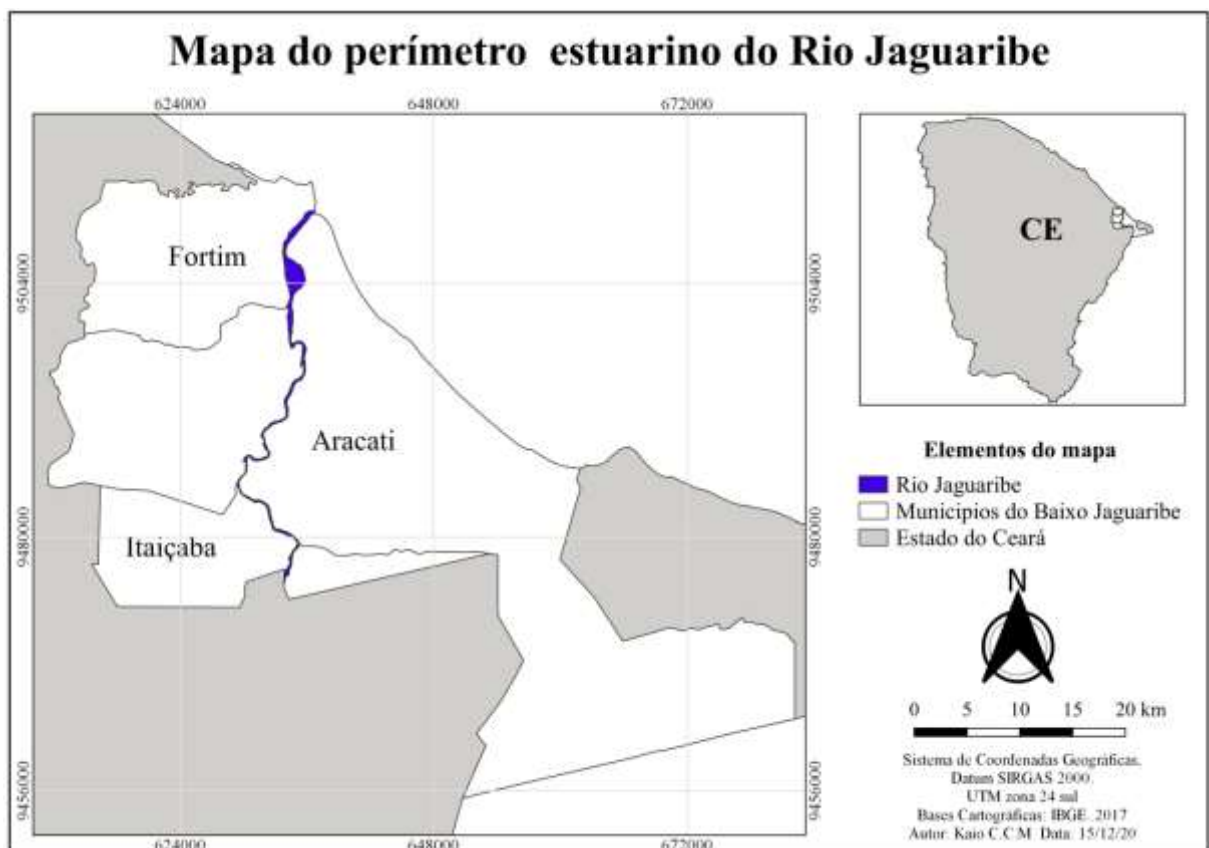
2 MATERIAS E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

Segundo a Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará (SRH-CE), o Rio Jaguaribe apresenta uma extensão de 610 km, partindo da sua nascente a sudoeste do estado na Serra da Joanhina (Tauá – CE) até sua foz a nordeste no município litorâneo do Fortim-CE. Sua porção estuarina está localizada entre os municípios de Itaiçaba, Aracati e Fortim no litoral leste do Estado Ceará (Figura 1), onde é encontrada a sua foz para o oceano Atlântico, esse trecho corresponde à parte do baixo-curso (BORGHETTI et al., 2003).

Estas cidades apresentam como melhores características de desenvolvimento o turismo de lazer, seguido da carcinicultura que ganhou destaque após os anos 2000. As referidas cidades ocupam uma área e apresentam uma população de 212,11 km² e 7.738 habitantes (Itaiçaba), 4.663,82 km² e 73,629 habitantes (Aracati), 278,77 km² e 16,272 habitantes (Fortim) (IPECE, 2017).

Figura 1: Localização da área do estudo.



Fonte: AUTOR, 2020.

A região estuarina do Rio Jaguaribe apresenta uma extensão de 36 km, ocupando aproximadamente uma área de 641.216 km², limitada em sua montante na barragem de Itaiçaba e desaguando na sua jusante no oceano Atlântico equatorial, trecho esse que apresenta praias do tipo arenosas, dunas e falésias marinhas. Neste perímetro estuarino a planície e o canal do rio formam diversos sub-ambientes distintos, apresentando diversos padrões fluviais, morfologias e feições sedimentares. O canal principal chega a medir 900m de largura e a área de mangue ocupar 11,8km² (PAULA, 2006).

2.1.1 Caracterização geológica e geomorfológica

A bacia hidrográfica do Rio Jaguaribe é conhecida por ser a maior bacia hidrográfica do estado do Ceará, ocupando mais de 50% do estado (DIAS et al., 2009), sendo subdividida em cinco sub-bacias, sendo elas: Alto Jaguaribe, Médio Jaguaribe, Baixo Jaguaribe, Banabuiú e Salgado. Tal bacia hidrográfica apresenta uma alta diversidade de uso de solos e ocupações como: áreas de vegetação natural, pasto, ocupação urbana e agrícola. Na foz, em sua margem esquerda são encontradas as falésias do Grupo Barreiras, em quanto na sua margem direita é apresentado um campo de dunas. A mineralogia encontrada na região é formada por Biotita, Epidoto, Ortoclasio, Caolinita, Ilita, Caolim, Siltitos, Óxidos de ferro e Concreções ferruginosas (GATTO et al., 1999).

2.1.2 Vegetação

Segundo a Superintendência Estadual do Meio Ambiente (SEMACE, 2006), a vegetação encontrada as margens do Rio Jaguaribe pode ser dividida em: Vegetação de Tabuleiros litorâneos com Subcaducifólia e Subperenefólia; Vegetação de Várzea com Carnaubais; Vegetação de Caatinga com espécies arbustivas e arbóreas; Litorânea com Pioneira Psamófila, vegetação Perinifólia de Mangue, vegetação subperenifólia de Dunas, (SEMACE, 2006). A vegetação de mangue está por toda área de inundação das planícies flúvio-marinhas que corresponde ao ecossistema manguezal. Nas várzeas é apresentado um domínio de estrato mais elevado com a carnaubeira (*Copernicia cerifera*) sendo a principal espécies encontrada, podendo ser acompanhada de arbustos e árvores como a Jurema (*Mimosa tenuiflorar*), Mameleiro (*Croton sp*) e o Mufumbo (*Combretum leprosum*), (POR, 2004).

2.1.3 Características Hidroclimáticas

O Rio Jaguaribe é categorizado como perene devido a construção do açude Castanhão e sua capacidade de acumular 6 bilhões de m³ de água, permitindo o fluxo permanente das

águas após sua construção. Seu padrão de drenagem é o dendrítico, apresentando uma configuração espacial como uma ramificação de árvore. O regime de maré apresenta uma amplitude de variação de 3m, sendo classificado como semi-diurno (MARINS et al., 2003).

A condição atmosférica do estado do Ceará sofre influência principalmente da Zona de Convergência Intertropical, sendo ela responsável por delinear o clima semiárido no Nordeste do Brasil (SOUZA, 2002), apresentando um regime pluviométrico do tipo tropical, dividido de forma distinta em dois períodos: seco, compreendendo os meses de junho a novembro, e chuvoso, compreendendo os meses de dezembro a maio, exibindo ainda os maiores índices de chuva no mês de abril (DIAS, 2007).

Os ventos que tem predominância na região são os alísios e tem seu melhor desenvolvimento na costa leste da bacia oceânica (PAULA, 2006). O regime térmico característico da região é basicamente de temperaturas altas com uma reduzida amplitude térmica, apresentando uma média anual de 26° C com pequenas variações que não ultrapassam 5° C, essa característica é dada devido o caráter da região ser tropical e por também está próxima a linha do Equador (MAIA, 1998).

2.1.4 Caracterização e classificação dos estuários

O estuário é um corpo hídrico costeiro onde ocorre a mistura da água salgada vinda do oceano com a água doce do continente, produzindo um gradiente de densidade que determina o processo estuarino e serve de depósito para o sedimento de origem fluvial. Esses ambientes dentro de uma escala de tempo geológico estão fadados a desaparecer rapidamente (SILVA, 2004).

A interação da maré da origem a três tipos de zonas: zona estuarina costeira, onde a salinidade é igual à salinidade do mar; zona salina média, onde existi uma variação na salinidade de 1 a 35 ppm; zona salina fluvial, onde a salinidade encontrada é sempre menor que 1 ppm. O estuário é um ecossistema que apresenta grande produtividade ecológica como econômica, ele une as unidades ambientais de manguezais, salgados e apicuns que são de grande importância para a fauna como para o homem (MELLO, 2005).

2.1.5 Tensores de Origem Antrópica

Atualmente o litoral leste do estado do Ceará é um dos maiores produtores de camarão, e é no Rio Jaguaribe que se potencializa essa produção. Segundo Moraes (2004), 75% das atividades de carcinicultura estão instaladas no estuário do Rio Jaguaribe, 50,15% no ecossistema manguezal, 22,17% ao carnaubal, 21,29% ao tabuleiro, 2,89% em áreas

antropizadas, 0,91% em áreas alagadas e 2,59% em Caatinga, gerando na hidrodinâmica e morfodinâmica do estuário impactos diretos.

Outros problemas que são apresentados nessa região são: supressão da mata siliar, propiciando a erosão das margens e assoreamento do leito do rio; constante aumento de assentamentos urbanos e suas atividades produtivas que impactam de forma direta com o lançamento de resíduos.

Os prejuízos de origem antrópica afetam a biodiversidade e interferem nas comunidades tradicionais que ali residem, prejudicando ainda na sua qualidade de vida.

2.1.6 Definição da Área de estudo

Devido à dificuldade em aplicar o Código Florestal Brasileiro para APP's, que por vez apresenta as dimensões de proteção diante de cada realidade local, tomando em conta a largura do corpo hídrico como também a zona que ele é encontrado para definir sua área de proteção, mas que não deixa claro o método para ser utilizado quando a diversas modificações de largura do corpo hídrico junto como a dependência da zona que ele é encontrado. Diante disto, visando entender as modificações dentro do tempo e do espaço, assumiu-se um valor fixo de 200m a partir das bordas da calha do referido rio nos dois sentidos, para que assim pudesse ser contemplada toda a vegetação em torno do Rio Jaguaribe. A extensão escolhida foi de 36 km, representando a parte estuarina do baixo Jaguaribe, que tem início na barragem do município de Itaiçaba e vai até a foz no município do Fortim.

2.2 COLETAS DE DADOS

Para a avaliação das mudanças no espaço temporal da área estudada, foram escolhidas seis imagens da cena 216/063 da série de satélites Landsat, em um intervalo de cinco anos para as quatro imagens iniciais, três anos para a quinta imagem e dois anos para a última, esses anos foram escolhidos a fim de buscar informações do início, meio e fim de cada década, mudando o critério para as duas últimas imagens que foram escolhidas para melhor entender o efeito da grande seca que assolou esse período. Três dessas imagens pertencem ao Landsat 5 (L5), uma ao Landsat 7 (L7) e duas ao Landsat 8 (L8) (Tabela 1), disponíveis de forma gratuita no banco de dados da *United States Geological Survey* (USGS, 2017), que pode ser acessado através da página <https://earthexplorer.usgs.gov>.

As seleções das imagens foram feitas por base de um critério aplicado de no máximo 10% de nuvens nas cenas escolhidas, ainda pertencendo aos meses de transição da quadra chuvosa para o início da seca.

Tabela 1: Características das imagens obtidas do satélite Landsat.

Satélite	Sensor	Órbita/Ponto	Resolução Espacial	Resolução Espectral	Resolução Radiométrica	Data de Aquisição	Fonte de Aquisição
Landsat 5	TM	216/063	30m	8 Bits	7 Bandas	02/06/1999 01/07/2004 31/07/2009	USGS
Landsat 7	ETM+	216/063	30m	8 Bits	8 Bandas	11/06/2014	
Landsat 8	OLI	216/063	30m	16 Bits	11 Bandas	06/08/2017 09/06/2019	

Fonte: AUTOR, 2020.

Em busca de entender a precipitação da área estudada foi realizado uma avaliação temporal histórica, onde foram utilizadas informações da precipitação acumulada de cada mês entre Janeiro de 1974 e Dezembro de 2019. Essas informações foram obtidas no site da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME), para a Macrorregião do Jaguaribe na estação climatológica de Aracati.

Todos os dados obtidos foram tabelados e posteriormente utilizados para realização do cálculo da normal climatológica, que pode ser encontrada com a precipitação média histórica anual (PMHA), onde é somado o valor da precipitação acumulada de todos os meses dentro do intervalo de tempo, dividido pela quantidade total de meses usados, no caso 552, sendo este o número total de meses dos 46 anos.

Também foram realizados os cálculos de precipitação média histórica mensal (PMHM), consistindo-se do valor acumulado da precipitação de determinado mês dentro de todo o período histórico utilizado, dividido pela quantidade de anos do período histórico, no caso 46.

Precipitação média anual (PMA), que é a soma da precipitação de todos os meses de cada ano e dividido pela quantidade de meses do ano. Para avaliar a transição do período chuvoso para o seco foi observado os três primeiros meses em que o PMHM foi menor que o PMHA.

2.3 ANÁLISES DE DADOS

A elaboração de todos os índices e mapas do presente trabalho teve em sua origem o Sistema de Informação Geográfica (SIG), utilizando o software livre e gratuito do Sistema de Informações Geográficas (QGIS), versão 3.4.12-Madeira. Para iniciar o pré-processamento digital das imagens (PPDI), primeiramente foi realizado a instalação do plugin *Semi-Automatic Classification Plugins (SCP)*, complemento para o QGIS que possibilita classificar de forma semi-automática ou supervisionada cada pixel da imagem. Utilizando o *SCP*, precisamente a ferramenta *Processing* com o elemento Aplicar correção atmosférica DOS 1, realizou-se a correção atmosférica, feito necessário devido às imagens adquiridas sofrerem influência de forma significativa da atmosfera com os gases e aerossóis como também das nuvens, reduzindo a energia que deveria chegar aos sensores dos satélites.

Para facilitar a manipulação e o processamento das imagens foi criado um Band set, uma única imagem composta por bandas de interesse. O processo tem por finalidade simplificar o processamento deixando-o mais prático, permitindo compor de diferentes formas o grupo de bandas desejadas. Neste procedimento foi empilhada as bandas do vermelho e do infravermelho próximo, respectivamente B3 e B4 para o Landsat 5 e 7, B4 e B5 para o Landsat 8.

Essas bandas foram escolhidas por avaliarem a absorção de clorofila, tipos de vegetação, teor de biomassa e delineamento de corpos hídricos. Para realizar o procedimento, novamente foi utilizado o plugin *SCP*, ferramenta Band set, onde foi feito a escolha das bandas e do satélite para o reajuste de valores e assinalado a criação do *raster* com o conjunto de bandas.

Os *rasters* criados tem em suas imagens iniciais a origem norte-americana, desta forma são projetados para o hemisfério norte (*datum* WGS84), devido essa característica foi necessário reprojetar todos os *rasters* para o hemisfério sul, convertendo o *datum* para o SIRGAS 2000 UTM, zona 24S (código EPSG:31984). Esse procedimento foi realizado através da ferramenta do QGIS, *Raster*, projeções, reprojetar coordenadas.

Como última etapa do PPDI, foi realizado o recorte da área estudada a fim de facilitar e direcionar o processamento, inicialmente foi utilizado à ferramenta *Quick Map Services* do QGIS, para acessar o software gratuito Google Earth e selecionar a área de estudo, posteriormente foi criado um *shapefile (.shp)* do tipo polígono que definiu toda área ocupada

pelo Rio Jaguaribe na sua porção estuarina, esse *shape* file do tipo vetorial foi utilizado para delimitar a partir de ambas as bordas da calha do rio um Buffer de 200m. Esse processo foi realizado com a ferramenta *vetor*, utilizando a opção *geoprocessamento*, criação de Buffer.

A partir da delimitação da área de Buffer pode-se fazer o recorte do *shape* file com a região escolhida. Posteriormente foi realizado o recorte com base na camada máscara, utilizando o vetor criado como limite escolhido de base para o recorte do *raster*. Esse procedimento foi realizado utilizando a ferramenta *raster*, opção extrair, recortar *raster* pela camada máscara.

O processamento digital das imagens (PDI) foi realizado na aplicação dos índices de vegetação, esses índices são operações algébricas envolvendo faixas de reflectância que permitem determinar a cobertura e a densidade vegetal (CRUZ et al., 2011). Para o desenvolvimento dos índices foi utilizado a calculadora *raster* do software QGIS.

NDVI - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada proposto por (ROUSE et al., 1973) é realizado através da razão entre a refletividade do infravermelho próximo e do vermelho, podendo ser calculado da seguinte forma:

$$\text{NDVI} = (\text{piv} - \text{pv}) / (\text{piv} + \text{pv})$$

Onde:

pv – é a banda do vermelho; e,

piv – é a banda do infravermelho próximo.

Esse índice é reconhecido por ser um indicador de condição e da quantidade da vegetação, seus valores podem variar dentro de um intervalo que vai de -1 a 1 (quanto mais próximo de 1 maior é a densidade vegetal).

SAVI - Índice de Vegetação Ajustado ao solo (HUETE, 1988) é uma adaptação ao NDVI, cuja finalidade é minimizar os efeitos que o solo pode causar na vegetação, ele incorpora uma constante de ajuste ao solo (L).

$$\text{SAVI} = (1 + L) (\text{piv} - \text{pv}) / L + \text{piv} + \text{pv}$$

Onde:

L – denomina-se como um fator constante de ajuste ao solo.

Os valores dessa constante podem mudar conforme as características da vegetação onde o índice é utilizado, portanto $L=0.25$ é utilizado para vegetação densa, $L=0.5$ para vegetação de densidade intermediária, $L=1$ para vegetação de baixa densidade. Neste estudo adotou-se o $L=0.5$ por melhor se adequar as características da região estudada.

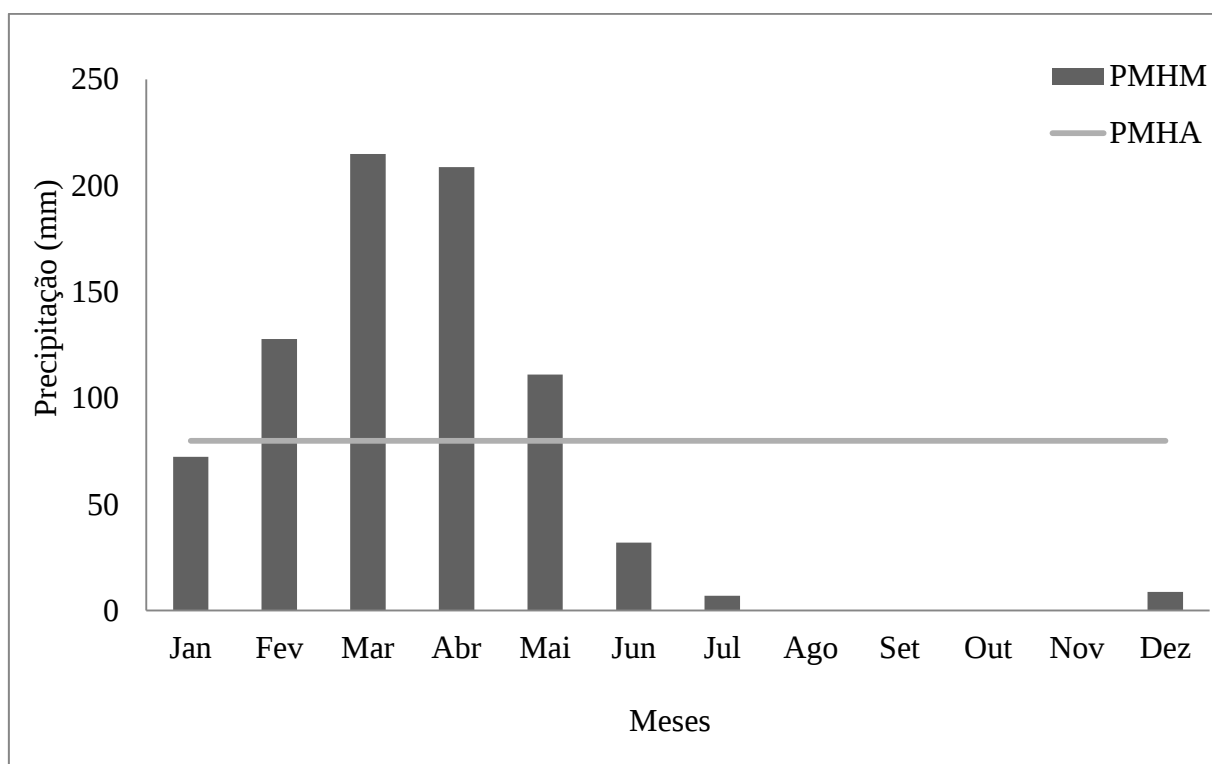
Posterior à aplicação dos índices, todas as cenas foram renderizadas com a configuração de Banda Simples Falsa-Cor, visto que esse processo possibilita uma melhor distinção nos resultados dos índices e na visualização dos mapas gerados. Por fim, realizou-se o cálculo da área dos *rasters* criados, esse procedimento foi possível com a ferramenta *Processar* do QGIS, utilizando a opção *Report*, gerar relatório de Estatística. Todos os dados gerados foram tabelados para criação dos gráficos por meio do Microsoft Excel 2010.

3 RESULTADOS

3.1 NORMAL CLIMATOLÓGICA E PRECIPITAÇÃO ACUMULADA POR ANO

Com os valores obtidos de PMHM e PMHA, resultantes de uma série temporal de 46 anos, iniciada em 1974 e finalizada em 2019, pode-se afirmar que o período chuvoso da área em estudo é composto por quatro meses, sendo eles fevereiro, março, abril e maio, seguindo a premissa que classifica como chuvoso os meses que apresentarem o PMHM maior que o PMHA. Desta forma também foi possível observar que às maiores precipitações acontecem nos meses de março e abril, e a transição da quadra chuvosa para seca é composta pelos meses de junho e julho, o início do período seco é apresentado no mês de agosto e se estende até o mês de dezembro (Figura 2).

Figura 2: Normal climatológica, apresentada pela precipitação média histórica mensal (PMHM) e precipitação média histórica anual (PMHA), para 46 anos de chuva.

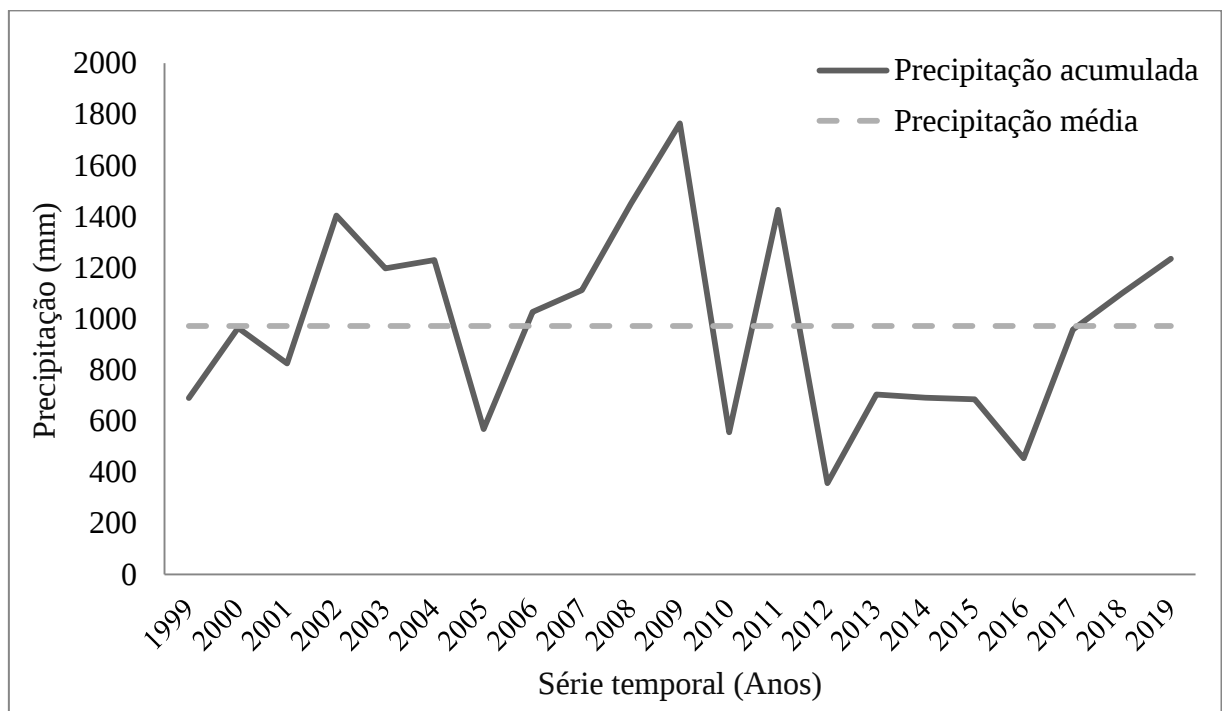


Fonte: AUTOR, 2020.

A precipitação acumulada de cada ano da série temporal apresentou o seu maior valor no ano de 2009 com 1.764 mm e seu menor valor no ano de 2012 com 357 mm. Observa-se dentro da série histórica dois pequenos ciclos com precipitação maior que a média, 2002 a 2004 e 2006 a 2009, também é possível destacar dois ciclos de precipitação com valores

menores que a média da série histórica, 1999 a 2001 e de 2012 a 2016, sendo este último o mais longínquo e mantendo-se cinco anos abaixo da média (Figura 3). Esse fenômeno pode apresentar como principal consequência à redução da produtividade na região acometida, resultando em uma repercussão negativa para o ecossistema atingido pelo déficit hídrico.

Figura 3: Precipitação total acumulada para cada ano da série histórica e precipitação média da série histórica.

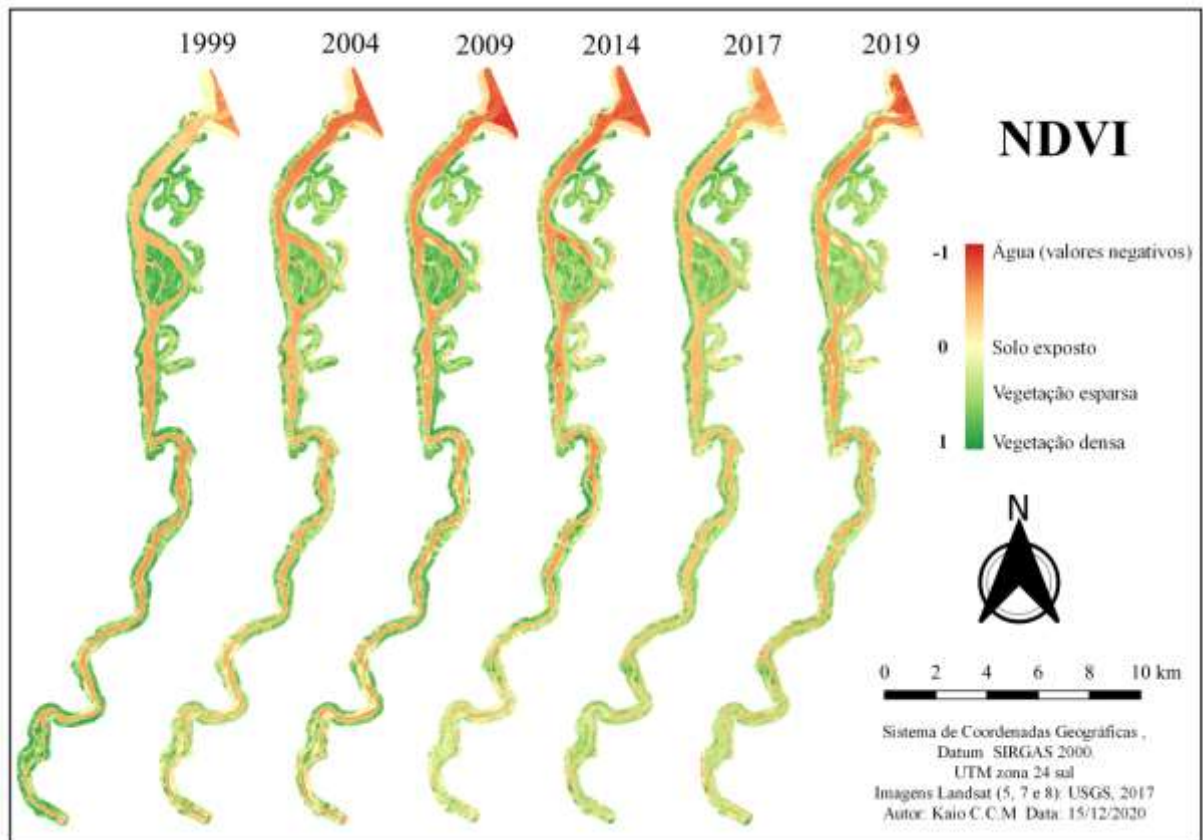


Fonte: AUTOR, 2020.

3.2 ANÁLISE DA APLICAÇÃO DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO NDVI E SAVI NA DINÂMICA TEMPORAL DO PERÍMETRO ESTUARINO DO RIO JAGUARIBE

Os mapas resultantes da aplicação dos índices de vegetação NDVI e SAVI para a série temporal no perímetro estuarino do Rio Jaguaribe foram gerados através de uma composição de banda simples falsa cor que facilita a identificação visual da classificação automatizada, apresentando em suas imagens um gradiente de cores com cinco categorias distintas e valores de índices atribuídos para cada uma delas, iniciando no Verde, representando valores próximos a 1, Amarelo para valores próximos a 0, Vermelho para valores próximos a -1. Todos os valores negativos encontrados para ambas os índices foram desconsiderados por representarem o corpo hídrico e não contribuírem com o trabalho (Figuras 4 e 6).

Figura 4: Mapas gerados através da aplicação do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) para a série temporal analisada.



Fonte: AUTOR, 2020.

De maneira geral, os valores encontrados na aplicação do NDVI para o perímetro estuarino do rio Jaguaribe revelou uma baixa dinâmica espaço temporal, com baixas variações dos valores gerados com o índice nas classes avaliadas, apresentando pequenas reduções e retomadas para valores próximos aos encontrados anteriormente (Figura 5). É possível observar essa baixa variação em todas as classes analisadas, para a vegetação densa, encontrou no ano de 1999 o maior valor do índice (NDVI=0.84), e seu menor valor no ano seguinte de 2004 (NDVI=0.73), posteriormente houve uma recuperação gradual ano a ano, finalizando com um valor próximo ao maior obtido para essa classe, sendo eles; 2009 (NDVI=0.75), 2014 (NDVI=0.76), 2017 (NDVI=0.79) e 2019 (0.81).

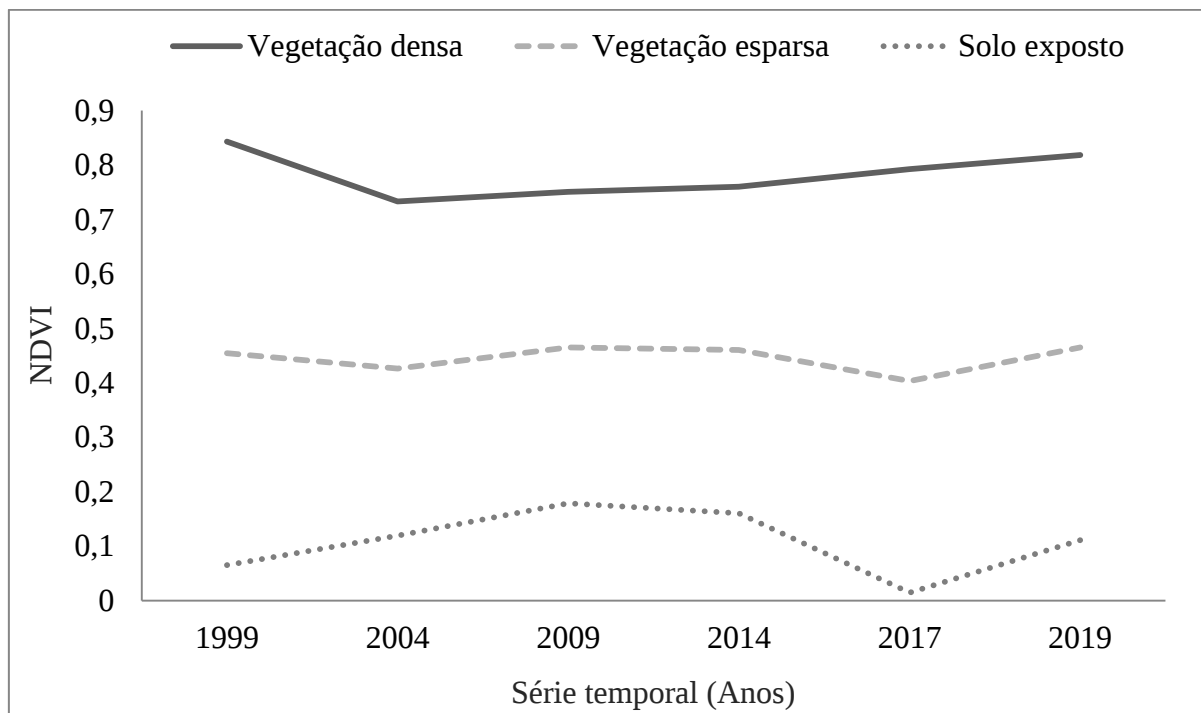
Para a classe de vegetação esparsa, os valores gerados pelo índice apresentam similaridade em três anos, variando apenas na terceira casa após a vírgula, esses anos detiveram os maiores valores encontrados para a classe, sendo eles; 2009 (NDVI=0.464), 2014 (NDVI=0.460) e 2019 (NDVI=0.464). O menor valor encontrado foi obtido no ano de 2017 (NDVI=0.40), o ano de 1999, primeiro ano avaliado da série histórica, apresentou valor

próximo aos maiores encontrados ($\text{NDVI}=0.45$), valor esse reduzido no ano seguinte de 2004 ($\text{NDVI}=0.42$).

A classe solo exposto, apresentou a maior variação dentro das classes geradas pelo NDVI, obtendo o seu maior valor para o ano de 2009 ($\text{NDVI}=0.17$), e o seu menor valor para o ano de 2017 ($\text{NDVI}=0.01$). É possível observar que essa classe apresentou crescimento nos primeiros três anos da série histórica, respectivamente; 1999 ($\text{NDVI}=0.06$), 2004 ($\text{NDVI}=0.11$) e 2009 ($\text{NDVI}=0.17$).

Após esse período de crescimento houve uma pequena retração em 2014 ($\text{NDVI}=0.16$), prosseguindo de forma mais abrupta para o ano de 2017, obtendo o menor valor encontrado como relatado anteriormente, posteriormente essa classe exibiu um crescimento para o ano de 2019 ($\text{NDVI}=0.11$), valor esse já encontrado na tendência inicial observada para o início da série histórica, precisamente no ano de 2011.

Figura 5: Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), representando às três categorias analisadas..

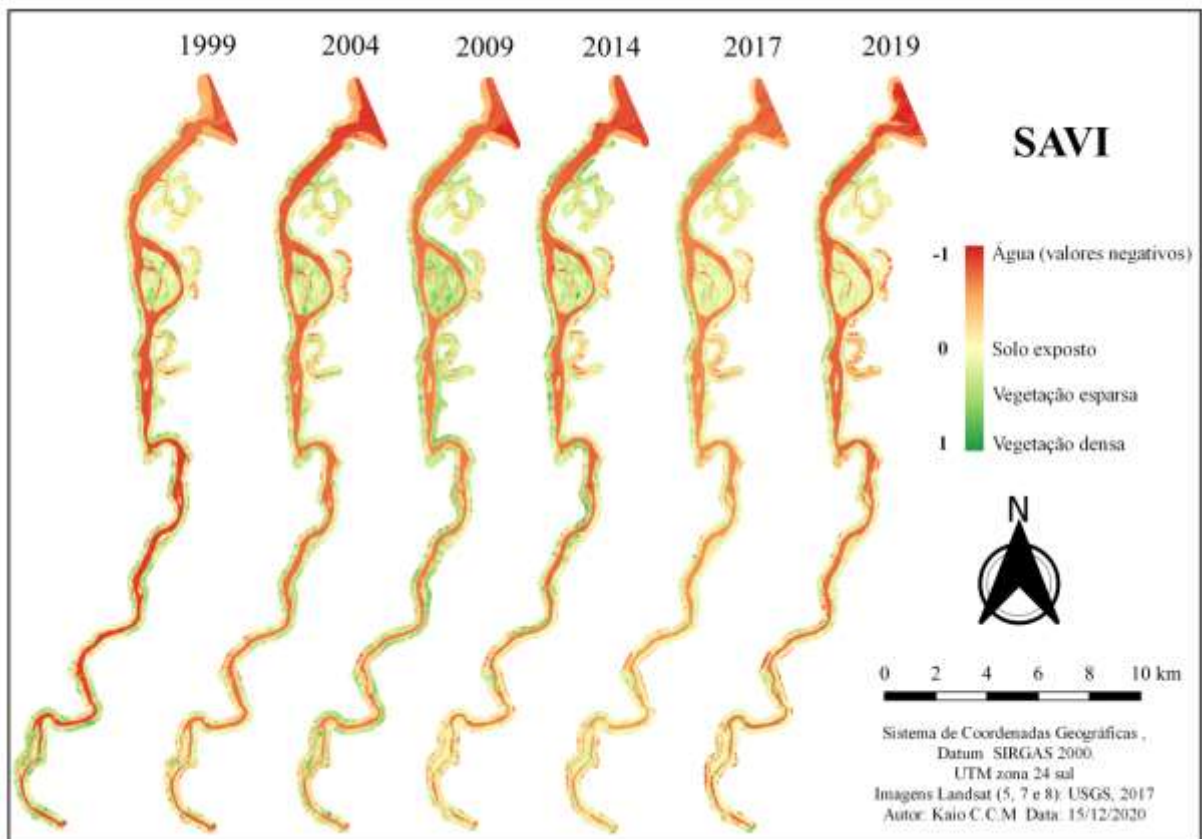


Fonte: AUTOR, 2020.

A aplicação do Índice de Vegetação Ajustado ao solo (SAVI), teve como objetivo minimizar os efeitos que o solo promove nos valores do NDVI, desta forma, os resultados obtidos com aplicação deste índice resultaram em mapas que visualmente se destiguem dos

gerados pelo NDVI, ficando claro a redução para valores próximos a 1 e o aumento para valores próximos a 0 dentro da série histórica (Figura 6).

Figura 6: Mapas gerados através da aplicação do Índice de Vegetação Ajustado ao solo (SAVI) para a série temporal analisada.



Fonte: AUTOR, 2020.

Ao se avaliar os resultados obtidos pelo índice SAVI para a classe de vegetação densa (Figura 7), observa-se valores com baixa variação dentro da série histórica, exibindo o maior valor do índice para o ano de 1999 (SAVI= 0.66), e o menor valor no ano de 2014 (SAVI=0.54).

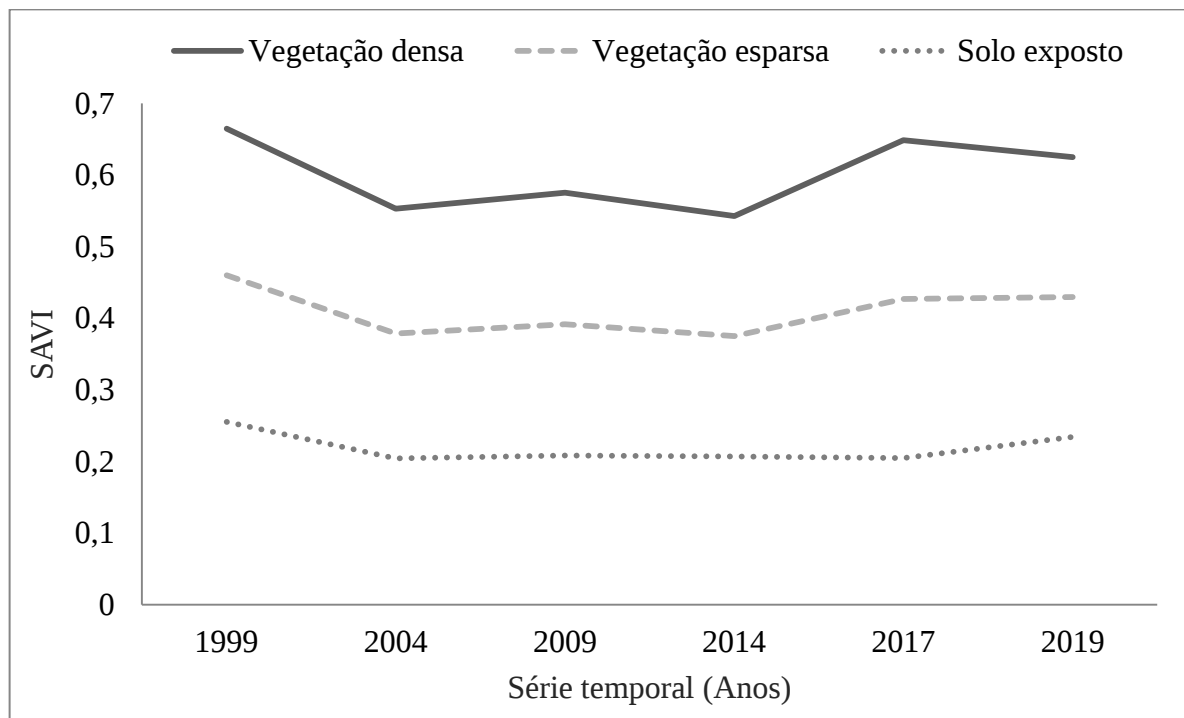
É possível observar que entre os anos de 2004 e 2014 obtiveram-se valores muito similares, apresentado respectivamente; 2004 (SAVI=0.55), 2009 (SAVI=0.57), e 2014 (SAVI=0.54). Posteriormente percebe-se uma retomada de crescimento dos valores para os anos de 2017 e 2019, aproximando os valores encontrados ao início da série histórica, sendo eles; 2017 (SAVI=0.64) e 2019 (SAVI=0.62).

A classe vegetação esparsa, apresentou o maior valor gerado pelo índice no ano de 1999 (SAVI=0.45), os menores valores foram encontrados para os anos de 2004

(SAVI=0.378), 2009 (SAVI=0.391), e 2014 (SAVI=0.374). Observa-se posteriormente uma recuperação com o aumento destes valores para os anos de 2017 (SAVI=0.426) e 2019 (SAVI=0.429), retomando assim a valores similares ao encontrado no início da série histórica.

Para a classe solo exposto, os valores gerados pelo índice apresentam o seu maior resultado no ano de 1999 (SAVI=0.25), posteriormente percebe-se uma estabilidade nos quatros anos seguidos avaliados, sendo eles e os seus valores respectivos; 2004 (SAVI=0.204), 2009 (SAVI=0.208), 2014 (SAVI=0.206) e 2017 (SAVI=0.204), constituindo também os menos valores encontrados para essa classe. Percebe-se no último ano da série 2019 (SAVI=0.234) uma pequena retomada de crescimento. De modo geral a variação dessa classe se deu de forma bastante discreta, mudando levemente dentro da série histórica.

Figura 7: Índice de Vegetação Ajustado ao solo (SAVI), representando às três categorias analisadas.



Fonte: AUTOR, 2020.

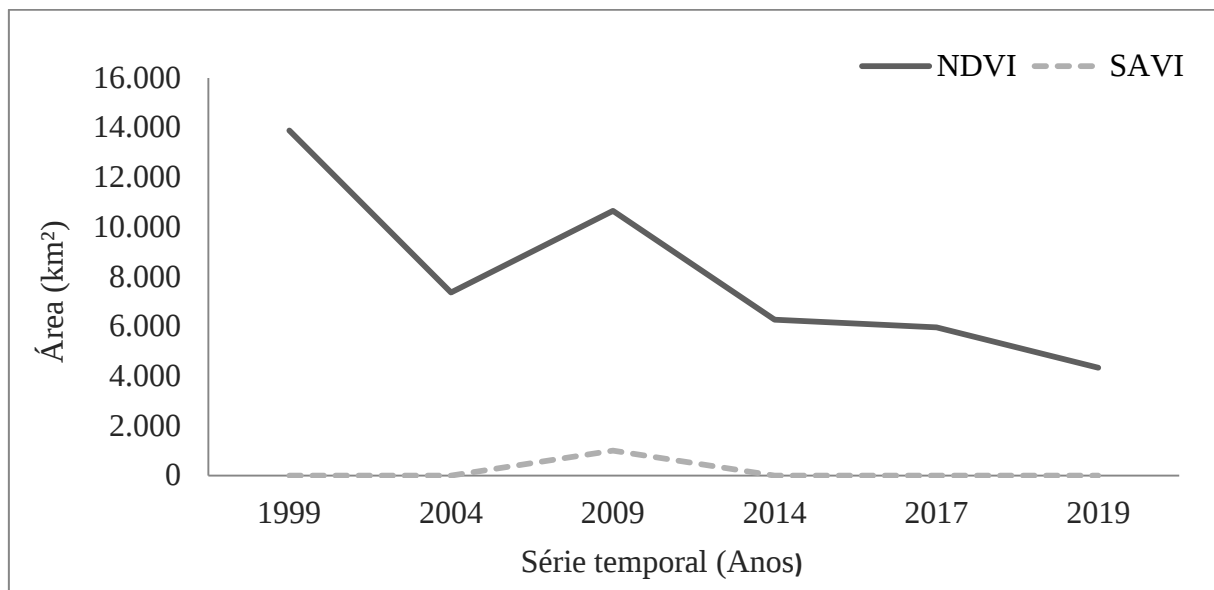
3.3 ANÁLISE DA ÁREA DE OCUPAÇÃO DAS CLASSES NA DINÂMICA TEMPORAL DO PERIMETRO ESTUARINO DO RIO JAGUARIBE

Os índices gerados permitiram a identificação da área ocupada por cada classe analisada: vegetação densa (Figura 8), vegetação esparsa (Figura 9) e solo exposto (Figura

10), possibilitando um melhor entendimento dos seus valores e facilitando a observação da sua representatividade no mundo real.

Quando observa-se os resultados gerados em km² das três classes, fica clara a modificação que o SAVI proporciona comparados aos valores do NDVI, isso é mais evidente para a classe vegetação densa e a classe solo exposto.

Figura 8: Área de ocupação dos índices NDVI e SAVI para a classe de vegetação densa em km².



Fonte: AUTOR, 2020.

Ao observar a classe vegetação densa, percebe-se que os valores da área estimada pelos índices apresentam uma tendência similar, porém com valores totalmente distintos, onde o NDVI apresentou a sua maior área ocupada pela classe no ano de 1999 (NDVI= 13.887 km²), e sua menor área em 2019 (NDVI=4.337 km²), em quanto o SAVI apresentou o seu maior valor no ano de 2009 (SAVI=1.001 km²), e seu menor valor no ano de 2017 (SAVI=0.121 km²).

Observa-se para o NDVI uma tendência de redução de área na série histórica, onde os valores foram de 37,42% (13.887 km²) da área ocupada em 1999, para 19,84% (7.363 km²) em 2004, apresentando um crescimento em 2009 com 28,69% (10.647 km²), e retornando a decrescer nos anos seguintes; 2014 (16,9% ou 6.237 km²), 2017 (16,07% ou 5.964 km²) e finalizando em 2019 com (11.69% ou 4.337 km²) o seu menor valor (Tabela 2). Para o SAVI a tendência observada foi similar, porém com valores estimados menores e distantes quando comparados ao NDVI, resultado proporcionado devido a constante de ajuste ao solo (L),

criada para minimizar os efeitos que o solo pode causar na vegetação, por essa condição de atuação do SAVI houve uma redução dos valores apresentados na série temporal, onde em 1999 apresentou um valor de 1,52% (0.563 km²) para um valor em 2004 de 1,06% (0.393 km²), apresentando um crescimento posterior no ano de 2009 com 2,7% (1.001 km²), e voltando a regredir nos anos de 2014 com 2,37% (0.881 km²) e 2017 com 0,33% (0.121 km²), finalizando com um pequeno crescimento para o ano de 2019 com 0,43% (0.160 km²), diferindo da tendência encontrada para o NDVI neste ano (Tabela 2).

Tabela 2: Ocupação dos índices analisados para a classe de vegetação densa na série histórica em % e km².

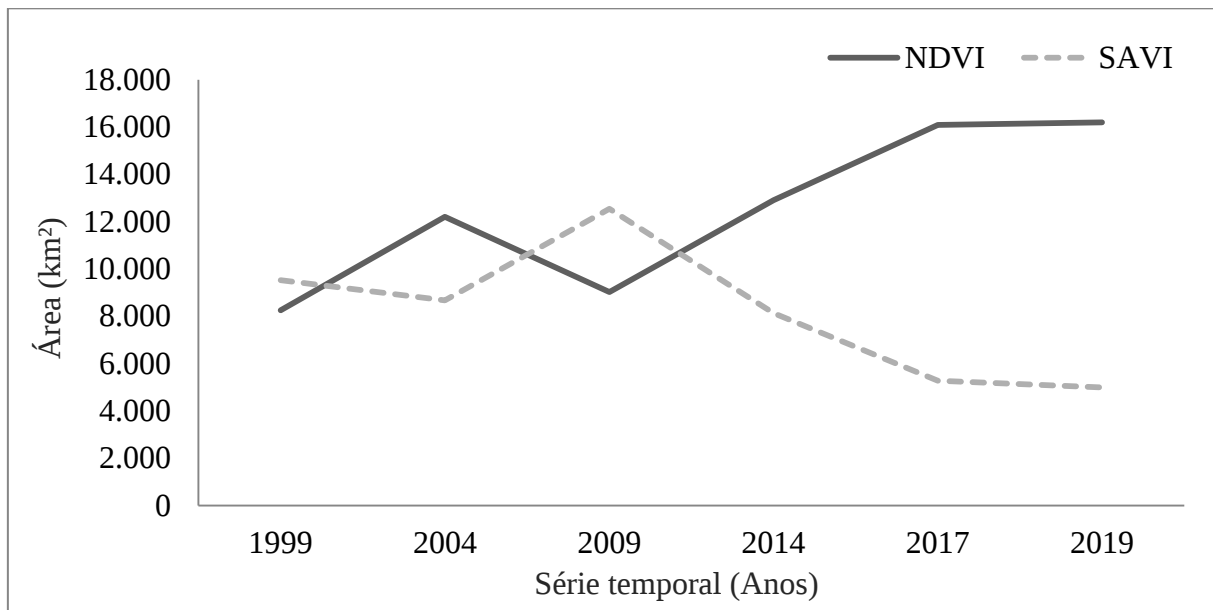
Vegetação densa	% NDVI	km² NDVI	% SAVI	km² SAVI
1999	37,42	13.887	1,52	0.563
2004	19,84	7.363	1,06	0.393
2009	28,69	10.647	2,7	1.001
2014	16,9	6.237	2,37	0.881
2017	16,07	5.964	0,33	0.121
2019	11,69	4.337	0,43	0.160

Fonte: AUTOR, 2020.

Para a classe vegetação esparsa, os valores encontrados apresentaram uma tendência inversa (Figura 9), onde o crescimento da área de um índice resultou na redução da área do outro. É possível perceber uma proximidade de valores no início da série histórica e a total divergência no último ano analisado.

Para o NDVI observou-se uma evolução da área ocupada por essa classe, obtendo seu valor máximo em 2019 (16.198 km²), e o seu valor mínimo em 1999 (8.259 km²). O SAVI ao contrário do NDVI, teve sua área reduzida, apresentando o seu maior valor em 2009 (12.545 km²), e seu menor valor em 2019 (4.990 km²).

Figura 9: Área de ocupação dos índices NDVI e SAVI para a classe de vegetação esparsa em km²..



Fonte: AUTOR, 2020.

Ao se avaliar a tendência de ocupação das áreas pelos índices, percebe-se que o NDVI inicia na série histórica com o seu menor valor (Tabela 3), encontrado no ano de 1999 22,26% (8.259 km²) da área, seguindo de um crescimento no ano de 2004 para 32,87% (12.200 km²), posteriormente houve uma redução da área ocupada em 2009 com 24,33% (9.027 km²), seguida por um crescimento nos demais anos da série histórica, respectivamente; 2014 com 34,81% (12.916 km²), 2017 com 43,34% (16.083 km²), finalizando com o maior valor encontrado para esse índice 43,65% (16.168 km²) em 2019.

Para o SAVI o valor inicial apresentado no ano de 1999 foi de 25,67% (9.528 km²), seguido de uma redução no ano de 2004 com 23,39% (8.681 km²), posteriormente houve o maior crescimento para o índice nesta classe, apresentando em 2009 33,8% (12.545 km²), após esse pico observa-se um decréscimo de forma sequencial nos anos seguinte da série histórica, distanciando-se cada vez mais dos valores encontrados para o índice NDVI, apresentando para o ano de 2014 21,91% (8.129 km²) de área, reduzindo em 2017 para 14,21% (5.273 km²), finalizando a série histórica com o menor valor para esse índice em 2019 com 13,45% (4.990 km²).

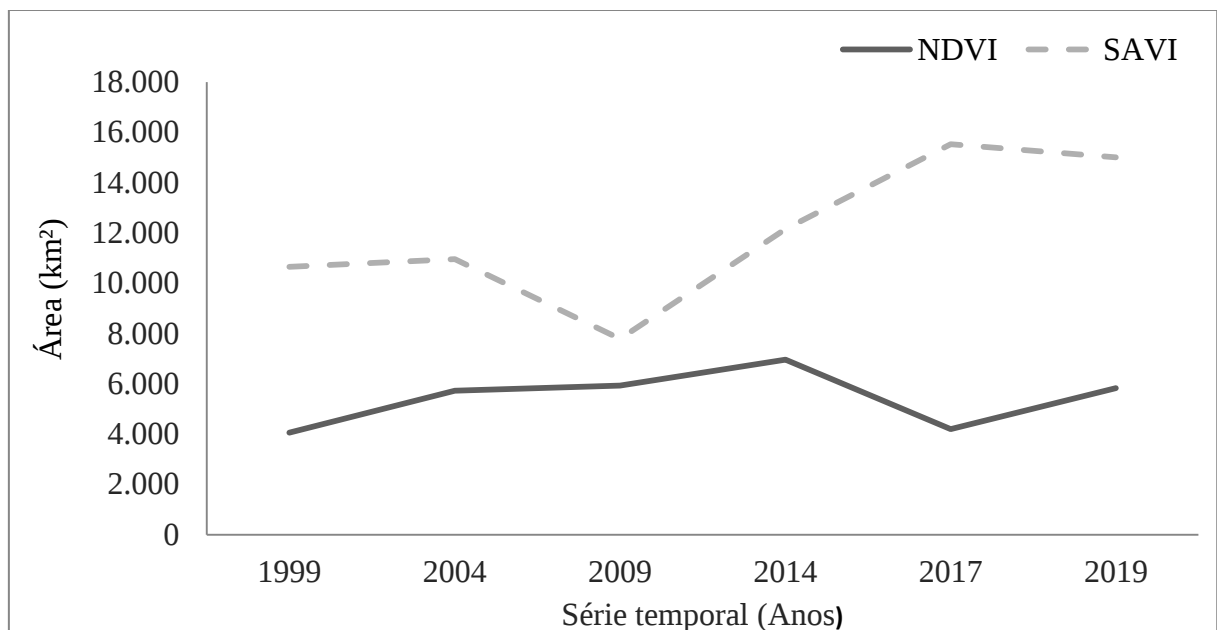
Tabela 3: Ocupação dos índices analisados para a classe de vegetação esparsa na série histórica em % e km².

Vegetação esparsa	% NDVI	km ² NDVI	% SAVI	km ² SAVI
1999	22,26	8.259	25,67	9.528
2004	32,87	12.200	23,39	8.681
2009	24,33	9.027	33,8	12.545
2014	34,81	12.916	21,91	8.129
2017	43,34	16.083	14,21	5.273
2019	43,65	16.168	13,45	4.990

Fonte: AUTOR, 2020.

A classe solo exposto apresentou nos seus resultados dos índices, valores inversos aos obtidos pelas classes anteriores, nela o SAVI exibiu maiores áreas em toda sua série histórica avaliada e apresentou um grande crescimento após o ano de 2009 (Figura 10), obtendo o seu maior valor para o ano de 2019 (15.528 km²), e o seu menor valor no ano de 2009 (7.786 km²). Para o NDVI, encontrou-se o maior valor de área no ano de 2014 (6.954 km²), e o seu menor valor foi encontrado no início da série, no ano de 1999 (4.050 km²).

Figura 10: Área de ocupação dos índices NDVI e SAVI para a classe solo exposto em km².



Fonte: AUTOR, 2020.

Ao se avaliar os valores das áreas geradas pelos índices, na classe solo exposto, percebe-se que o SAVI apresentou um pequeno crescimento do primeiro para o segundo ano da série (Tabela 4), onde em 1999 obteve 28.70% (10.652km²) de área, passou a apresentar em 2004 o valor de 29.52% (10.955 km²), logo após houve uma redução para o menor valor encontrado para esse índice nesta classe, 2009 com 20.98% (7.786 km²) de área, posteriormente apresentou-se uma retomada de crescimento e em 2014 o valor encontrado foi de 32.75% (12.155 km²), seguindo com aumento para o ano seguinte analisado, apresentando em 2017 41.84% (15.528 km²), finalizando a série histórica no ano de 2019 com uma pequena retração para 40.43% (15.004 km²).

Para o NDVI, percebeu-se valores mais singelos que os apresentado nas classes avaliadas anteriormente, mostrando uma tendência de crescimento nos quatro anos iniciais da série, iniciando em 1999 com 10.91% (4.050 km²), apresentando em 2004 15.43% (5.726 km²) de área, obtendo um pequeno crescimento para avaliação seguinte no ano de 2009 com 15.98% (5.930 km²), chegando ao máximo de área obtido no ano de 2014 com 18.74% (6.954 km²), posteriormente é observado uma redução de área para o ano de 2017 com 11.29% (4.190 km²), e novamente apresentando um crescimento no último ano da série, 2019 com 15.68% (5.820 km²).

Tabela 4: Ocupação dos índices analisados para a classe solo exposto na série histórica em % e km².

Solo exposto	% NDVI	km² NDVI	% SAVI	km² SAVI
1999	10.91	4.050	28.70	10.652
2004	15.43	5.726	29.52	10.955
2009	15.98	5.930	20.98	7.786
2014	18.74	6.954	32.75	12.155
2017	11.29	4.190	41.84	15.528
2019	15.68	5.820	40.43	15.004

Fonte: AUTOR, 2020.

4 DISCUSSÃO

Com bases nos valores obtidos por meio da aplicação das técnicas de sensoriamento remoto, ferramenta de grande importância que permite a investigação das mudanças ambientais dentro de uma escala de tempo, e a utilização dos índices de vegetação, possibilitando determinar a cobertura vegetal da região estudada, obteve-se um diagnóstico da ocupação da vegetação na região estuarina do Rio Jaguaribe dentro da série histórica, analisada por meio de classes (Vegetação densa; Vegetação esparsa, e Solo exposto) geradas pela aplicação dos índices NDVI e SAVI.

Estes índices se mostraram eficazes no presente trabalho por possibilitarem medir o estado da vegetação dentro do período estudado, bem com a área ocupado por cada classe analisada, proporcionando o monitoramento das mudanças interanuais de cada classe gerada, subsidiando a compreensão da dinâmica espaço temporal ocorrida, também afirma o grande potencial que as geotecnologias tem a oferecer aos estudos ambientais, permitindo uma compreensão temporal que pode subsidiar o estabelecimento de práticas sustentáveis e o embasamento para aplicação de políticas de preservação e conservação. A mata ciliar da região estuarina do Rio Jaguaribe, exibiu na série temporal uma dinâmica espacial, apresentando para ambos os índices utilizados uma alteração de valores durante o tempo, esta afirmação é devidamente esperada pela relação inerente a variabilidade das condições climáticas e as ações antrópicas que influenciam de forma direta nesse ambiente.

Ao analisar os valores do índice NDVI, fica clara a convergência de comportamento entre às classes, este índice apresentou uma redução de valor do primeiro (1999) para o segundo ano (2004) da vegetação densa, mas seguiu crescendo nos anos seguintes até um valor próximo ao inicial, esse resultado deve estar relacionado a melhores condições de disponibilidade de água, devido o índice apresenta uma forte relação às variáveis hidrológicas (NEZLIN et al., 2005).

Aparentemente a mesma tendência pode ser observada para a classe vegetação esparsa, divergindo com valores no início da série histórica, onde a vegetação densa apresentou o seu maior valor, em quanto à vegetação esparsa apresentou no último ano da série. Percebeu-se uma redução da classe esparsa no penúltimo ano analisado (2017) que não foi encontrado para a vegetação densa, isso pode ser dado pela maior fragilidade desta classe, estando mais sujeita a agentes externos e ao clima. Para a classe solo exposto, ficou claro o aumento dos valores da classe ao movimento de redução das outras, isso é a tendência natural

esperada, resultado da redução da vegetação que naturalmente abre espaço e proporciona o aumento do solo exposto.

Para o SAVI, percebeu-se que o índice cumpriu com excelência o seu papel, que é reduzir a influência da reflectância do solo nos índices de vegetação, deste modo ele promoveu um reajuste nos valores assumidos por cada classe estudada. Pode-se destacar uma tendência aproximada aos valores gerados pelo NDVI para as classes de vegetação densa e vegetação esparsa, porém, fica clara a redução dos valores na vegetação densa, percebe-se que o destaque gerado pelo índice foi aplicado a classe solo exposto, que assumiu valores maiores que os maiores identificados no NDVI, esse reajuste de valores é resultado da eliminação do efeito do solo e é amplamente obtido em estudos que utilizam esses índices de vegetação em conjunto, podendo ser observado em (GAMEIRO, 2016), que observou esse padrão ao avaliar a sub-Bacia Hidrográfica do Baixo Jaguaribe.

Ao se observar os valores de área gerados para cada classe dos índices em km², ficou clara a mudança de leitura que o SAVI pode proporcionar para a vegetação densa, percebe-se que a cobertura do solo estimado identificada pelo NDVI ocupa uma área imensamente maior que a do SAVI, seus maiores valores de ocupação de área (NVDI=37,42%; SAVI=2,70%) representam a discrepância que os índices podem produzir, mostrando de forma prática a necessidade de utilizar ambos de forma conjunta, a fim de reduzir possíveis erros de leitura, causando assim a impossibilidade de uma análise profunda. Para a classe de vegetação esparsa esse problema só é detectado no final da série histórica. O solo exposto também apresentou-se expressivamente ajustado com a aplicação do SAVI, desta forma fica claro a necessidade de utilização de ambos índices para uma melhor compreensão da realidade. Segundo Santana et al. (2018), o SAVI apresenta um grande potencial para estudos de áreas degradadas e fragmentadas, respondendo com muita precisão em áreas com solo exposto.

Buscando na literatura estudos que possibilitem entender a dinâmica dos índices para melhor avaliar o presente trabalho, encontram-se algumas aplicações de ambos os índices que produziram resultados com comportamento similar ao encontrado no presente trabalho. Silva (2007) comparou o desempenho de ambos os índices no monitoramento da bacia do rio Pirapama- PE, encontrando valores para o NDVI de 0.7 (1989) e 0.6 (2007). com o SAVI os valores encontrados foram de 0.6 (1989) e 0.5 (2007), onde o autor justifica a diferença nos resultados devido o índice SAVI evitar o efeito background do solo. O mesmo autor em 2009 utilizou os índices na microrregião de Itamacá-PE, onde apresentou um NDVI de 0.6 e um

SAVI com valor de 0.4, resultados esses atribuídos aos manguezais da região, novamente foi observado o ajuste de valores feitos pelo SAVI.

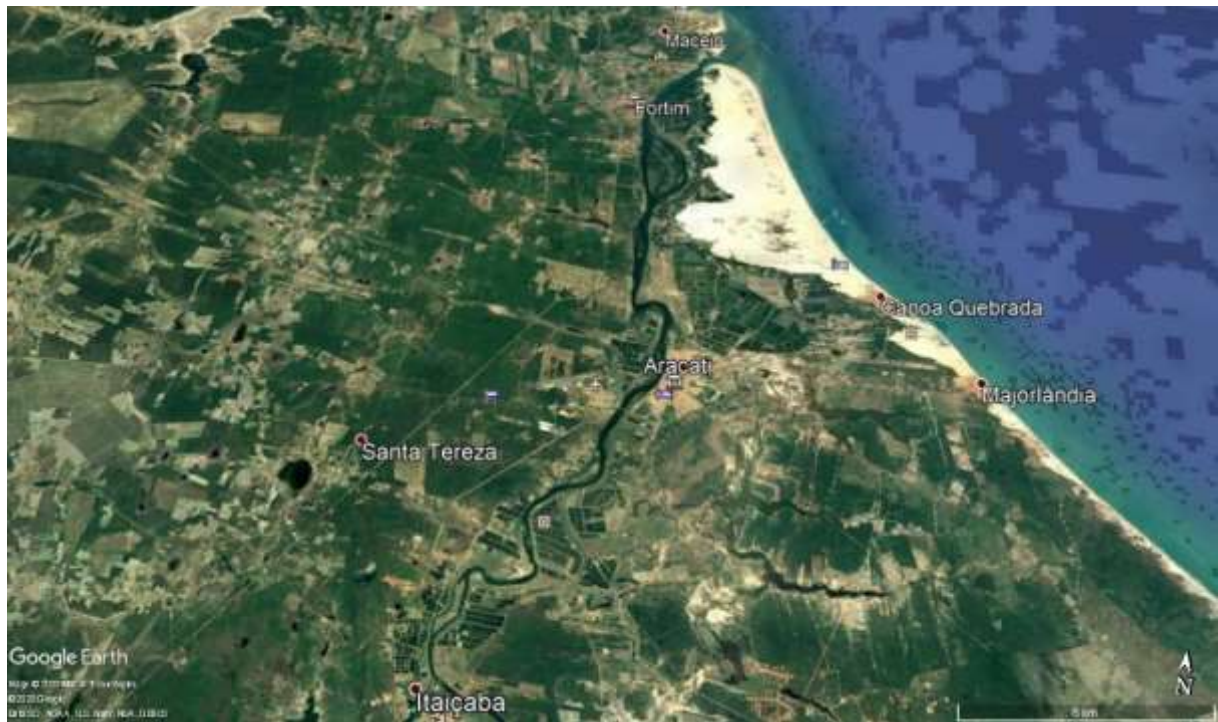
Santiago (2009) apresenta em seu trabalho uma análise da cobertura vegetal através dos índices de vegetação para região em torno da barragem do Botafogo-PE, onde foram encontrados valores para os índices de 0.8 (NDVI) e 0.6 (SAVI), referentes à cobertura vegetal densa. O referido autor explica essa redução devido à região apresentar características de uma vegetação mais esparsa, possibilitando o maior efeito do solo nos resultados do NDVI.

De acordo com Lima (2018), em seu trabalho, buscou avaliar as condições da distribuição vegetal para a bacia do rio Mamuaba, onde encontrou valor máximo para o NDVI de 0.71, em quanto o SAVI apresentou valor máximo de 0.49, o autor conclui que as aplicações dos índices foram satisfatórias para o monitoramento da cobertura vegetal, justificando a mudança de valor entre os índices devido à modificação da escala proporcionados por cada índice, apesar de utilizar as mesmas bandas no algoritmo.

As mudanças apresentadas pela mata ciliar podem gerar impactos negativos em diversos aspectos, comprometendo, por exemplo, a funcionalidade de corredor ecológico que permite a movimentação da fauna de forma eficiente, reduzindo às possibilidades de moradia para diversas aves, pequenos mamíferos e répteis, resultando em uma mudança de composição que pode excluir os animais dispersores de semente, importantes para um grande número de espécies de árvores nativas, ou ainda a redução de animais predadores de insetos, causando um desequilíbrio que estará ligado diretamente ao estado de conservação encontrado neste ambiente, portanto, à realidade atual do perímetro estudado (figura 11) pode já sofrer com esses impactos diante das modificações existentes encontradas.

Outro ponto que pode ser potencializado com essas modificações é o processo erosivo, sem às raízes das plantas o solo reduz sua capacidade estrutural, facilitando que às águas de chuva desgastem os taludes e levem o sedimento para o fundo dos rios, causando assoreamento e contaminação das águas, trazendo prejuízo para os animais aquáticos e para as populações humanas que dependem do rio para sobreviver.

Figura 11: Perímetro estuarino do Rio Jaguaribe entre os municípios de Itaiçaba, Aracati e Fortim no ano de 2020.



Fonte: Google Earth

Com os resultados obtidos pela aplicação dos índices de vegetação e a análise realizada, pode-se afirmar que o método utilizado atingiu o objetivo de avaliar a mudança espaço temporal da mata ciliar ocorrida no estuário do rio Jaguaribe por meio do sensoriamento remoto, permitindo validar a hipótese formulada; existe uma variação da condição e da área ocupada pela mata ciliar no perímetro estuarino do rio Jaguaribe.

Preenchendo uma lacuna de informação que ainda não existia na literatura com essa característica para o Rio Jaguaribe. Esse resultado mostra a importância de estudos que se aprofundem na averiguação dessa vegetação que é de suma importância por estarem ligadas aos corpos hídricos, permitindo intensas interações do ambiente terrestre com ecossistema aquático, essa vegetação é extremamente frágil aos impactos que o homem produz, somando-se as pressões naturais que o próprio clima impõe.

Apesar do bom resultado obtido no presente trabalho, o desenvolvimento do mesmo permitiu levantar pontos que podem agregar mais valor a linha de pesquisa, entender a dinâmica espaço-temporal que essa vegetação apresentou é o primeiro passo para melhor compreendê-la, porém, buscar informações dos objetos que empregam pressão e estão influenciando negativamente, causando uma retração silenciosa histórica é por de mais

necessário, apresentando-se então como uma limitação a ser sanada e projetando-se como segundo ponto e mola de continuidade do atual projeto. Outra perspectiva futura é estimar a condição da Área de Proteção Permanente desse perímetro, podendo avaliar a aplicabilidade do Código Florestal dentro dessa região durante determinado tempo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados do presente estudo, conclui-se que a mata ciliar do perímetro estuarino do Rio Jaguaribe sofreu modificações, quanto à cobertura do solo estimado e área de ocupação para a série temporal estudada, afirmação essa possível devido às possibilidades dadas pelo uso do sensoriamento remoto, ferramenta de estimado valor que vem ganhando muito espaço para solucionar problemas ambientais, como também aos índices de vegetação, possibilitando identificar características distintas que auxiliam no diagnóstico ambiental.

Desta forma a técnica aqui aplicada mostrou-se adequada, propiciando o monitoramento por meio dos índices e permitindo visualizar o ajuste que o SAVI proporciona ao NDVI, resultado da característica da vegetação estudada, que se apresenta de forma mais fragmentada e possibilita o efeito do solo sobre o mesmo. Portanto, fica evidente a variação das áreas de cada classe, apresentando como destaque para o NDVI a vegetação densa, com 37,42% de área em 1999, reduzindo drasticamente para 11,69% em 2019. Para o SAVI a classe solo exposto foi a que se destacou, apresentando em 1999, 28,70% de área, crescendo para 41,84% de área em 2017.

Percebe-se que na literatura não existem trabalhos com o direcionamento que este apresentou, isso se apresenta como uma limitação que impossibilita a comparação dos resultados aqui obtidos com o comportamento de outros lugares similares ao aqui estudado, porém foi ocupada uma lacuna, possibilitando irmos mais a diante para entender quais pressões vem assolando essa vegetação e como ela reage a isso.

Por fim, o presente trabalho visou obter informações do comportamento histórico da vegetação ciliar do estuário do Rio Jaguaribe, a fim de aumentar o conhecimento dessa vegetação que é de grande importância para esse rio, por ser fonte de alimento e lazer para as comunidades por onde ele passa, como pela importância ambiental que ele detém.

REFERÊNCIAS

- ALFREDO, J. **Manguezal ameaçado**: impactos sociais e ambientais da criação de camarões em cativeiro. Brasília, DF: Câmara dos Deputados, 2005.
- ALLEN, R. G et al. SEBAL (Algoritmos de Equilíbrio de Energia de Superfície para Terra) - Treinamento Avançado e Manual do Usuário - Implementação de Idaho (Versão 1.0). O Departamento de Recursos Hídricos de Idaho: Boise, ID, EUA , 2002.
- AMORIM, A. T et al. Avaliação da resposta espectral de um fragmento florestal do bioma mata atlântica. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 19., 2019, Santos. **Resumos**, [...]. São Paulo: Universidade Estadual Paulista (Unesp), 2017.
- BATISTA, A. C, Detecção de incêndios florestais por satélites. **Floresta**, Curitiba, v. 34, n. 2, p. 237-241, mai./ago. 2013.
- BORGHETTI, N.R.B. et al. Uma visão geral sobre a produção de organismos aquáticos no brasil e no mundo. **Aquicultura**, Curitiba, p. 128 Grupo Integrado de Aqüicultura e Estudos Ambientais, 2003. 128p.
- BURROUGH, P. A.; Mc DONNELL, R.A. **Principles of geographic information systems**. 1. ed. Oxford. New Yor: Oxford University Press, 1998. 285p
- CRUZ M. A. S.; Souza A. M. B.; Jesus J. S. Avaliação da cobertura vegetal por meio dos Índices de Vegetação SR, NDVI, SAVI e EVI na bacia do rio Japaratuba. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15., 2011, Curitiba **Anais [...]** Sergipe: INPE, 2011.
- DIAS, F. J. DA S. ; MARINS, R. V. ; MAIA, L. P. **Hidrodinâmica das descargas fluviais para o estuário do Rio Jaguaribe (CE.)**. 2007. 111 p. Dissertação – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.
- DIAS, F. J. S.; MARINS, R. V.; MAIA, L. P. Hydrology of a well-mixed estuary at the semi-arid Northeastern Brazilian coast. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 21, n. 4, p. 377-385, 2009.
- DURIGAN, G.; SILVEIRA, E. R. Recomposição da mata ciliar em domínio de cerrado, Assis, SP. Riparian forest restoration in cerrado, Assis, SP, Brazil. **Scientia forestalis**, n. 56, p. 135-144, 1999.
- EPIPHANIO, J. C. et al. Índices de vegetação no sensoriamento remoto da cultura do feijão. **Pesquisa agropecuaria brasileira**, v. 31, n. 6, p. 445-454, 1996.
- FERNANDES, A. C. G. et al. Utilização de intervalos de índices de vegetação e temperatura da superfície para detecção de queimadas. **Caderno de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 2, p. 30-40, 2016.
- FIGUEIREDO, M. C. B. et al. Perfil das Fazendas de Camarão em Águas Interiores, na Região do Baixo Jaguaribe. **RBRH–Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 9, n. 3, p. 101-108, 2004.

GAMEIRO, S. et al. Avaliação da cobertura vegetal por meio de índices de vegetação (NDVI, SAVI e IAF) na Sub-Bacia Hidrográfica do Baixo Jaguaribe, **Terrae**, Fortaleza, v. 13, n. 1, p.15-22, mar./abr. 2016.

GOOGLE EARTH-MAPS. <http://mapas.google.com>. Consulta realizada em; 15 dez. 2020.

GATTO, L. C. S. et al. **Diagnóstico Ambiental da Bacia do rio Jaguaribe**, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Salvador, Diretrizes gerais para ordenação territorial, 77 p, 1999.

HUETE, A. R. soil-adjusted vegetation index (SAVI). Remote Sensing of Environment. **Remote sensing of environment**, Arizona, v. 25, p. 295-309, ago./set. 1988.

IPECE – Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Perfil das regiões de planejamento do litoral leste**. Secretaria do Planejamento e Gestão do Estado do Ceará, Governo do estado do Ceará, Fortaleza, CE, 2017. Disponível em: <https://www.ipece.ce.gov.br/>. Acesso em: 12 nov. 2020.

LIMA F. P. M.; XAVIER, A. P. C. Índices de vegetação utilizados na caracterização da cobertura vegetal da bacia do rio mamuaba, estado da PB. In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, 6., 2018, João Pessoa. **Resumos**, [...]. Paraíba: Universidade Federal da Paraíba, 2018.

LIMA. W. Função hidrológica da mata ciliar. In: SIMPÓSIO SOBRE MATA CILIAR, Campinas, 1., 1998, **Resumos** [...]. São Paulo, p. 25-42, 1998.

LIMA, W. P.; ZAIKA, M. J. B. Hidrologia de matas ciliares In: Matas ciliares: conservação e recuperação—editores Ricardo Ribeiro Rodrigues, Hermógenes de Freitas Leitão Filho. **São Paulo: Editora Universidade de São Paulo: FAPESP**, 2000.

MAIA, L. P. **Procesos costeiros y balance sedimentario a lo largo de Fortaleza (NE-Brasil): Implicações para una gestión adecuada de la zona litoral**. 1998. 269 p. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Geologia)-Facultat de Geologia, Universitat de Barcelona. Barcelona, 1998.

MARINS, R. V. et al. Efeitos da açudagem no rio Jaguaribe. **Ciência Hoje**, v. 33, n. 197, p. 66-70, 2003.

MELO, E. T., Sales, M. C. L., Oliveira, J. G. B. Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para análise da degradação ambiental da microbacia hidrográfica do Riacho dos Cavalos. **RA'EGA** Crateús-CE. v.23, p. 520-533. 2005 .

MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Avaliação e ações prioritárias para a conservação da biodiversidade da Mata Atlântica e Campos Sulinos. Secretaria de Biodiversidade e Florestas (SBF).Brasília: MMA**. 2000. 40 p. Disponível em:<http://programas.inema.ba.gov.br/>. Acesso em 2 dez. 2020.

MORAIS, J. O.; PINHEIRO, L. S. P. **The impacts of the Jaguaribe river flow on the erosion and sedimentation of Pontal de Maceió** – State of Ceará – NE Brazil. Trabalho

apresentado no VII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, Porto Seguro, 2009.

NEZLIN, Nikolay P.; KOSTIANOY, Andrey G.; LI, Bai-Lian. Inter-annual variability and interaction of remote-sensed vegetation index and atmospheric precipitation in the Aral Sea region. **Journal of Arid Environments**, v. 62, n. 4, p. 677-700, 2005.

PAULA, D. P.; MORAIS, J. O.; PINHEIRO, L. S. Análise geoambiental do estuário do rio Jaguaribe-CE: tensores naturais e antrópicos. In: Simpósio Nacional de Geomorfologia, 6., 2006, Goiânia. **Anais [...]**. Ceará; Universidade Estadual do Ceará, 2006.

QGIZ Development Team, YEAR. QGIZ Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>

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. 13., 2007, Florianópolis. **Anais [...]**. INPE, 2007.

ROUSE, J. W. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS (Earth Resources Technology Satellite). In: Third Earth Resources Technology Satellite-1 **Symposium**; Freden, SC, Mercanti, EP, Becker, MA, Eds. p. 309-317.

SANTANA, S. H. C. et al. Identificação dos índices de vegetação com melhores respostas espectrais para a Mata Atlântica na cidade de São Paulo-SP. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, Pernambuco, v. 3, n. 2, p. 200-209, abr. 2018.

SANTIAGO, M. M. et al. Análise da cobertura vegetal através dos índices de vegetação (NDVI, SAVI e IAF) no entorno da Barragem do Botafogo-PE. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 14. 2009, Natal. **Anais [...]**. Recife, Departamento de Ciências Geográficas, 2009..

SEMACE. Superintendência Estadual do Meio Ambiente. Estado do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil. SEMACE, 2006. Disponível em: <https://www.semace.ce.gov.br/>. Acesso em : 11 out. 2020.

SILVA, C. G. et al. Ambientes de sedimentação costeira e processos morfodinâmicos atuantes na linha de costa. **Editora Interciência**, Rio de Janeiro, v. 1 p. 175-218, jan. 2004.

SILVA, H. A. et al. Comparação entre os desempenhos dos índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF no monitoramento da vegetação da bacia do rio Pirapama-PE. Simpósio Brasileiro de Geografia, 13., 2007, Natal. **Resumos**, [...]. Minas Gerais: Universidade Federal de Viçosa, 2009.

SILVA, H. A. et al. Uso do Sensoriamento Remoto através de Índices de Vegetação NDVI, SAVI e IAF na microrregião de Itamaracá-PE. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14., 2009, Natal. **Resumos**, [...]. Minas Gerais: Universidade Federal de Viçosa, 2009.

SOUZA, M. J. N.; OLIVEIRA, V. P. V. ; GRANGEIRO, C. M. M.. Análise Geoambiental.
In: ELIAS, D. (Org.). **O novo espaço da produção globalizada** – o baixo Jaguaribe.
Fortaleza: FUNCEME, 2002. p. 23-89.