



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CARTOGRÁFICA E DE
AGRIMENSURA

GILDO AMANCIO DOS SANTOS

**COMPARAÇÃO ENTRE O MAPEAMENTO DA LINHA DE VEGETAÇÃO
COSTEIRA OBTIDA POR SENSORIAMENTO REMOTO ORBITAL E
FOTOGRAF MÉTRICO COM DRONE**

Recife

2021

GILDO AMANCIO DOS SANTOS

**COMPARAÇÃO ENTRE O MAPEAMENTO DA LINHA DE VEGETAÇÃO
COSTEIRA OBTIDA POR SENSORIAMENTO REMOTO ORBITAL E
FOTOGRAMÉTRICO COM DRONE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Mikosz Gonçalves.

Coorientadora: Ma. Inessa Racine Gomes de Araújo Amancio.

Recife

2021

Catálogo na fonte:
Bibliotecária Sandra Maria Neri Santiago, CRB-4 / 1267

S237c

Santos, Gildo Amancio dos.

Comparação entre o mapeamento da linha de vegetação costeira obtida por sensoriamento remoto orbital e fotogramétrico com drone / Gildo Amancio dos Santos. – 2021.

31 f.: il., figs., tabs., abrev. e siglas.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Mikosz Gonçalves.

Coorientadora: Inessa Racine Gomes de Araújo Amancio.

TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Departamento de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, 2021.

Inclui referências.

1. Engenharia cartográfica. 2. VARI. 3. NDVI. 4. Linha de vegetação. 5. RPAS. 6. GNSS. I. Gonçalves, Rodrigo Mikosz (Orientador). II. Amancio, Inessa Racine Gomes de Araújo (Coorientadora). III. Título.

UFPE

526.1 CDD (22. ed.)

BCTG/2022-396

GILDO AMANCIO DOS SANTOS

**COMPARAÇÃO ENTRE O MAPEAMENTO DA LINHA DE VEGETAÇÃO
COSTEIRA OBTIDA POR SENSORIAMENTO REMOTO ORBITAL E
FOTOGRAFÉTRICO COM DRONE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura.

Aprovada em: 22/12/2021.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Rodrigo Mikosz Gonçalves (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Ma. Inessa Racine Gomes de Araujo Amancio (Coorientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Ma. Raquel Arcoverde Vila Nova (Examinador Externo)
Universidade Federal do Ceará

Eng^a. Cartógrafa Júlia Isabel Pontes (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, porque sem Ele nada seria possível.

Agradeço ao meu orientador Rodrigo Mikosz Gonçalves por aceitar o desafio de conduzir meu trabalho, à minha coorientadora Inessa Amancio pela paciência de me nortear, sua dedicação me motivou, ao Thiago Holanda por sua disponibilidade e pela grande contribuição dada a este trabalho.

Gratidão pelos meus pais que nunca mediram esforços para minha educação. Este trabalho é a prova de que os esforços deles pela minha educação não foram em vão e valeram a pena.

Agradeço à minha esposa Inessa Amancio e aos meus filhos Vinicius e Luiza por compreenderem as várias horas em que estive ausente por causa do desenvolvimento deste trabalho.

Sou grato a todo corpo docente do Departamento de Engenharia Cartografia da Universidade Federal de Pernambuco que com profissionalismo transmitiram seu saber.

Também agradeço a todos os meus colegas de curso, pela oportunidade do convívio e pela cooperação mútua durante estes anos, em especial à Max, Camila, José Carlos, Alice e Júlia.

RESUMO

A linha de vegetação é uma feição presente na geomorfologia costeira, pode ser considerada como um indicativo da posição espacial da linha de costa. Existem diversos métodos para identificar a linha de vegetação, cada qual com sua respectiva resolução espacial. Nesta contribuição foram utilizados três métodos, sendo dois deles a partir da aplicação de índices de vegetação: o VARI (*Visual Atmospheric Resistance Index*) e o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) obtidos respectivamente pelo mosaico de ortofotos digitais a partir do RPAS (*Remotely Piloted Aircraft System*) e imagens de satélites artificiais oriundas do Landsat 8. O terceiro método utilizado foi a identificação em campo utilizando o posicionamento relativo com GNSS (*Global Navigation Satellite System*). O mesmo foi utilizado como valor de referência para efeitos comparativos entre os dois outros métodos. A praia do Paiva, localizada no município de Cabo de Santo Agostinho no estado de Pernambuco, possui a linha de vegetação bem definida em toda sua extensão, sendo escolhida como estudo de caso. Os objetivos foram (i) identificar a linha de vegetação a partir do VARI obtido por RPAS e a partir do NDVI utilizando o Landsat 8 e (ii) comparar as respectivas acurácias encontradas tendo como parâmetro a linha de vegetação obtida por GNSS. Os resultados obtidos apresentaram uma distância média de 639,92cm para o método NDVI e 85,57cm para o VARI. Tais resultados evidenciam que o VARI é um índice que pode ser usado para a extração de linhas de vegetação, para o monitoramento dos ambientes costeiros utilizando RPAS quando o objetivo do projeto necessita de alta resolução espacial. As imagens de satélites podem ser utilizadas para o cálculo de variações da linha de costa, sem levar em consideração as limitações oriundas da escala da imagem e do processo de identificação de feições, o experimento aqui evidencia que a linha de vegetação possui uma precisão média de dezenas de metros, sendo adequadas para aplicações regionais ou até mesmo globais onde o nível da resolução espacial pode ser considerado baixa.

Palavras chaves: VARI; NDVI; linha de vegetação; RPAS; GNSS.

ABSTRACT

The vegetation line is a feature present in coastal geomorphology. It can be considered as an indication of the spatial position of the coastline. There are several methods to identify the vegetation line, each with its respective spatial resolution. In this contribution, three methods were used, two of them from the application of vegetation indexes such as VARI (Visual Atmospheric Resistance Index) and NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) obtained respectively by digital orthophoto from RPAS (Remotely Piloted Aircraft). System) and artificial satellite images from Landsat 8. The third method for what was field identification using the relative positioning method with GNSS (Global Navigation Satellite System). The same what as the reference value for comparative purposes between the two other methods. Paiva beach, located in the municipality of Cabo de Santo Agostinho in the state of Pernambuco, has a well-defined vegetation line along its entire length, being chosen as a case study. Where, the objectives were (i) to identify the vegetation line from the VARI obtained by RPAS and from the NDVI using Landsat 8 and (ii) compare the respective accuracies found having as a parameter the vegetation line obtained by GNSS. The results obtained showed an average distance of 639.92cm for the NDVI method and 85.57cm for the VARI. These results show that the VARI is an index that can be used for the extraction of vegetation lines, what is a level of monitoring of coastal environments using RPAS when the project objective requires high spatial resolution. Satellite images are often used to calculate shoreline variations, without considering the limitations arising from the image scale and the feature identification process, the experiment here demonstrating evidence that the vegetation line has an average precision of tens of meters, being suitable for regional or even global applications where the level of spatial resolution can be considered low.

Keywords: VARI; NDVI; vegetation line; RPAS; GNSS.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - (a) Estado de Pernambuco destacado no nordeste do Brasil; (b) retângulo em vermelho contendo a praia do Paiva, pertencente ao município de Cabo de Santo Agostinho em Pernambuco; (c) Foto aérea oblíqua da Praia do Paiva; (d) linha de vegetação mapeada através da trajetória percorrida por GNSS.....	20
Figura 2 - Fluxograma Metodológico.....	21
Figura 3 - Linha de vegetação identificadas através NDVI (a), VARI (b).....	23
Figura 4 - Linha de vegetação identificadas através NDVI (a), VARI (b) e GNSS (c); área em destaque para as linhas de vegetação identificadas através do NDVI (d), VARI (e) e GNSS (f).....	24
Figura 5 - Comparação entre a linha de vegetação identificada através do GNSS e a linha de vegetação identificada através do VARI.....	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estatísticas das distâncias entre a LV GNSS e NDVI, LV GNSS e VARI.....	25
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BPR	Banco e Praia Rítmicos
BTR	Banco Transversal e Corrente de Retorno
CRs	Correntes de Retorno
DEM	Modelos Digital de Elevação
GLONASS	Globalnaya navigatsionnaya sputnikovaya sistema
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
LIDAR	Light Detection and Ranging
LV	Linha de vegetação
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NIR	Near Infrared
PPP	Posicionamento Preciso do Ponto
RGB	Red Green Blue
RMR	Região Metropolitana do Recife
RPAS	Remotely-Piloted Aircraft System
RTR	Parâmetros Relative Tide Range
TBM	Terraço de Baixa-mar
VARI	Visual Atmospheric Resistance Index

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	13
2.1	OBJETIVO ESPECÍFICO	13
3	EMBASAMENTO TEÓRICO	14
3.1	LEVANTAMENTO COM O RPAS	14
3.2	AQUISIÇÃO DAS IMAGENS DE SATÉLITE LANDSAT 8	14
3.3	LEVANTAMENTO COM O GNSS	14
3.4	CÁLCULO DO NDVI	15
3.5	CÁLCULO DO VARI	16
3.6	IDENTIFICAÇÃO DA LINHA DE VEGETAÇÃO	16
3.7	ACURÁCIA DA LINHA DE VEGETAÇÃO	17
4	METODOLOGIA	19
4.1	ÁREA DE ESTUDO	19
4.2	MATERIAIS	20
4.3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	21
5	RESULTADOS	22
5.1	GNSS	22
5.2	NDVI E VARI	22
5.3	ACURÁCIA RELATIVA ENTRE AS LINHAS DE VEGETAÇÃO (GNSS E VARI) E (GNSS E NDVI)	24
5.4	APLICABILIDADE E LIMITAÇÕES DOS MÉTODOS	26
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	27
	REFERÊNCIAS	28

1 INTRODUÇÃO

As zonas costeiras possuem várias feições dinâmicas que podem ser mapeadas, entre elas existe a linha de vegetação e a linha de costa que por ser um elemento dinâmico possui várias definições, algumas, relacionadas com a componente da maré em um determinado instante de tempo. Um indicativo muito utilizado para analisar os processos costeiros é a linha de vegetação, essa feição é considerada em vários estudos de preservação ambiental (Sharples, 2006; Bush et al., 1999; De Farias & Maia, 2010; Martins, 2015) bem como tem a função de ser mais um dos elementos que podem indicar, dependendo do local, a delimitação entre o continente e o oceano (BOAK et. al., 2005).

Foi no final da década de trinta que fotografias aéreas começaram a ser realmente utilizadas para o mapeamento da linha de costa. Quando comparadas com um conjunto de variações temporais, começaram a ser utilizadas para modelos de predição a respeito da vulnerabilidade à erosão costeira (LEATHERMAN, 1983). Contudo, neste método era bastante comum, a distorção radial causada pela lente do equipamento, relevo, inclinação da aeronave e a variação na escala da imagem por mudanças na altitude do voo, atualmente existem alternativas para o mapeamento costeiro. Por meio da utilização de técnicas da aerofotogrametria, o RPAS oferece produtos de mapeamento, de maneira coordenada e sistemática, provando ser útil para pesquisas científicas em áreas costeiras (Drummond et al., 2015; Gonçalves et al., 2015; Chen et al., 2018), além de vantagens consideráveis em relação aos custos, resolução espacial e à produtividade quando comparados com outros métodos de aquisição de dados espaciais, tais como, o GNSS, imagens de satélites (Moore, 2000) e o Laser Scanner (GUISADO-PINTADO et al., 2018).

Os índices de vegetação têm sido largamente utilizados para monitorar a cobertura vegetal da Terra em escalas global e locais (MIURA et al., 2001). As imagens de satélite são amplamente usadas para observar a variabilidade espacial do índice de vegetação, o índice mais difundido é o NDVI, conforme utilizado pelos autores (GONÇALVES et al., 2019; ARAUJO et al., 2019; QUEIROZ, 2017; MAGLIONE, 2014; ALPHAN, 2013). A proposta deste trabalho é utilizar o RPAS para a extração da linha de vegetação através do índice VARI, que diferente do NDVI que é baseado em sensores infravermelho próximo (NIR), o VARI é obtido pelos sensores RGB. Como os produtos obtidos de linha de costa diferem em sua resolução espacial, uma validação deste indicativo tendo como referência o mapeamento

efetuado em campo com o uso do GNSS, demonstra as respectivas acurácias relativas obtidas pelos diferentes métodos.

Nesse contexto, esse estudo tem como objetivo principal identificar a linha de vegetação a partir do uso de imagem de satélite, GNSS e RPAS, utilizando como estudo de caso a praia do Paiva-PE, Brasil. Tendo como objetivos específicos: (i) extrair a linha de vegetação a partir do VARI obtido por RPAS; (ii) comparar a linha de vegetação obtida pelo NDVI, através da imagem de satélite Landsat 8 e; (iii) comparar com a linha de vegetação obtida por GNSS, com ambos os índices, verificando sua acurácia.

2 OBJETIVOS

Esse estudo tem como objetivo principal identificar a linha de vegetação a partir do uso de imagem de satélite, GNSS e RPAS (*Remotely Piloted Aircraft System*), utilizando como estudo de caso a praia do Paiva-PE, Brasil.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar a linha de vegetação a partir do VARI obtido por RPAS;
- Identificar a linha de vegetação obtida pelo NDVI, através da imagem de satélite Landsat 8;
- Comparar com a linha de vegetação obtida por GNSS, com ambos os índices, verificando sua acurácia.

3 EMBASAMENTO TEÓRICO

O embasamento teórico está dividido em quatro tópicos: 3.1 Levantamento com RPAS; 3.2 Aquisição das imagens de satélite Landsat 8; 3.3 Levantamento com o GNSS; 3.4 Cálculo do NDVI; 3.5 Cálculo do VARI, 3.6 Identificação da linha de vegetação; e 3.7 Acurácia da linha de vegetação

3.1 LEVANTAMENTO COM O RPAS

O levantamento com o RPAS foi realizado em 19/10/2020. O equipamento utilizado foi o DJI *Phantom 4 Advanced*, este contém uma câmera RGB com os seguintes parâmetros da câmera: tipo FOV 84°, resolução 5472 x 3078, distância focal de 8,8 mm. Para operar o drone também foi necessário o uso de um aplicativo para o gerenciamento e planejamento de voo. Os pontos de controle foram pré-sinalizados com alvos de madeira compensada medindo 40x40 cm. O produto obtido pelo drone nesta pesquisa foi o ortofoto mosaico, utilizado para processar o índice de vegetação.

3.2 AQUISIÇÃO DAS IMAGENS DE SATÉLITE LANDSAT 8

A aquisição da imagem do satélite Landsat 8, contendo a área de estudo foi obtido no site do USGS – US *Geological Survey*, disponível para download em (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). O critério para escolha da data levou em conta a quantidade de imagens disponíveis próximas a data do levantamento GNSS, a ausência de nuvens e que fosse a mais próxima do levantamento GNSS e RPAS. A data que atendeu este critério foi 19/10/2020. Foram utilizadas as bandas B4 – vermelho (resolução espectral: 0,64 – 0,67 μm) e B5 – infravermelho próximo (resolução espectral: 0,85 – 0,88 μm).

3.3 LEVANTAMENTO COM O GNSS

Para obter a trajetória da linha de vegetação identificada em campo e as coordenadas tridimensionais dos pontos de controle e de verificação foi utilizado um par de receptores GNSS (base e móvel) modelo GS 15 da *Leica*, de dupla frequência (L1 e L2), captando sinais das constelações GPS e GLONASS.

Os pontos de controle e verificação foram obtidos pelo posicionamento relativo estático, com tempo de observação de 2 minutos para cada ponto. Para o levantamento da linha de vegetação foi usado o modo cinemático com uma taxa de gravação de 1 s para o receptor móvel e base. As coordenadas do receptor base foram obtidas pelo método PPP (Posicionamento Preciso do Ponto) em ponto selecionado aleatoriamente na área de estudo, este foi rastreado durante 4 horas e pós-processado com o auxílio do software IBGE-PPP). As coordenadas obtidas da base e dos pontos de controle e de verificação foram pós-processadas com o método relativo estático. Para o mapeamento da linha de vegetação foi utilizado o método relativo cinemático. Na prática o operador identifica a linha de vegetação e faz o caminhar segurando o receptor GNSS sobre a linha de vegetação, mapeando assim a sua trajetória. A máscara de elevação utilizada foi a padrão de 10°, o tempo de duração do levantamento da linha de vegetação em torno de 1 hora.

3.4 CÁLCULO DO NDVI

O índice de vegetação da diferença normalizada, *Normalized Difference Vegetation Index* ou simplesmente NDVI, foi desenvolvido por Rouse et al. (1974). Ele pode ser calculado a partir de imagens de satélite multiespectrais, e vem sendo utilizado por exemplo para estudos em ambientes costeiros com os encontrados em Ahmed & Akter (2017), Akbarinasab et al. (2018), Baiocchi et al. (2012), Benliay & Altuntaş (2014), Giannini & Parente (2015), Gonçalves et al. (2019), Mitra et al. (2017), Pinto & Fernandes (2011), Schucknecht et al. (2013) e Sun et al. (2018).

Para o cálculo do NDVI foi utilizada a equação 1:

$$NDVI = \frac{(NIR - Vermelho)}{(NIR + Vermelho)}, \quad (1)$$

Onde: NIR é a banda do infravermelho próximo; e Vermelho é a banda correspondente a luz vermelha no espectro eletromagnético.

O NDVI baseia-se na assinatura espectral das plantas, e conforme Karaburun (2010) seus valores variam entre -1,0 e 1,0, em que os valores negativos de NDVI ($NDVI < 0$)

correspondem a corpos d'água, valores muito baixos ($NDVI < 0,1$) indicam áreas inférteis, já valores considerados moderados ($0,2 < NDVI < 0,3$) representam áreas de pastagem e arbustos, enquanto ($0,6 < NDVI < 0,8$) expressam florestas tropicais e temperadas e indicam a presença de “vegetação viva” (CHOUHAN e RAO, 2017).

3.5 CÁLCULO DO VARI

O índice resistente à atmosfera na região do visível, *Visual Atmospheric Resistance Index* ou simplesmente VARI é calculado a partir de imagens RGB, e pode ser utilizado para a verificação do estresse da vegetação entre outras aplicações. Um mapa de VARI indica, através do verde, onde estão localizadas as vegetações. Estudos com VARI podem ser exemplificados através dos trabalhos de Valderrama-Landeros et al. (2021), Gil e Pacheco (2020) e Ballesteros et al. (2018). A equação 2 apresenta a fórmula para o cálculo do VARI.

$$VARI = \frac{(Verde - Verm)}{(Verde + Vermelho - Azul)}, \quad (2)$$

Onde: Verde, Vermelho e Azul são as bandas correspondentes a estes tons de cores no espectro.

3.6 IDENTIFICAÇÃO DA LINHA DE VEGETAÇÃO

A identificação da linha de vegetação foi realizada de 3 formas: (i) NDVI, após a aplicação do índice na imagem de satélite, uma vez aplicado o índice realizou-se uma classificação com falsa cor, variando da cor vermelha para a cor verde, onde a cor vermelha representa valores de NDVI baixos (mínimo de -0,139) e a verde os valores de NDVI altos (valor máximo de 0,480), traçou-se a linha de forma manual contornando a fronteira entre as cores verde e amarelo. Sousa et al. (2016); Gonçalves et al. (2019); Araújo et al. (2019); De Oliveira et al. (2020) apresentam estudos similares para a identificação da linha de vegetação, (ii) VARI, após a aplicação do índice no ortofoto mosaico obtido por RPAS. Sendo assim, traçou-se a linha de vegetação manualmente contornando a fronteira entre as cores verde e vermelha e (iii) GNSS, foi identificada a linha de vegetação em campo, obtendo assim as

coordenadas da sua trajetória. Estudos similares que utilizam esse procedimento podem ser encontrados com mais detalhes em MENDONÇA et al. (2014); DA SILVA et al. (2012); ROCHA et al. (2009); e LIMA (2019).

3.7 ACURÁCIA DA LINHA DE VEGETAÇÃO

Uma vez identificadas as linhas de vegetação pelos três métodos propostos utilizando RPAS, imagens de satélites e GNSS, foi elaborado o cálculo de acurácia. Para isso foi nomeado a linha de vegetação obtida em campo por GNSS como o “valor verdadeiro” para comparar a acurácia relativa com as demais.

Utilizando a linha de vegetação GNSS representado como base, foram traçadas n seções perpendiculares considerando a distância de 50m entre as seções. Como a extensão da linha de vegetação GNSS foi de 1,5 km foram obtidas 29 seções transversais. Em seguida, foram habilitadas as camadas no *ArcGIS* contendo as linhas de vegetação obtidas pelo NDVI e pelo VARI. Para cada seção perpendicular foi calculada a distância entre as respectivas linhas de vegetação (GNSS e NDVI) e (GNSS e VARI). Além de serem destacados nos resultados os desvios máximos e mínimos foram calculadas as seguintes estatísticas:

O desvio médio da linha de vegetação GNSS com as demais. Isso foi calculado com a equação 3:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (GNSS_i - \text{ÍNDICE}_i). \quad (3)$$

Onde: $(GNSS_i - \text{ÍNDICE}_i)$ denota a distância entre a linha de vegetação VARI ou NDVI e a linha de vegetação GNSS na seção transversal, enquanto i e n são o número de seções.

O desvio padrão

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (GNSS_i - \bar{INDICE}_i - \bar{x})^2} \quad (4)$$

Onde: $\bar{x}$ denota o desvio médio da linha de vegetação GNSS com as demais.

Erro médio quadrático

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (GNSS_i - \bar{INDICE}_i)^2} \quad (5)$$

4 METODOLOGIA

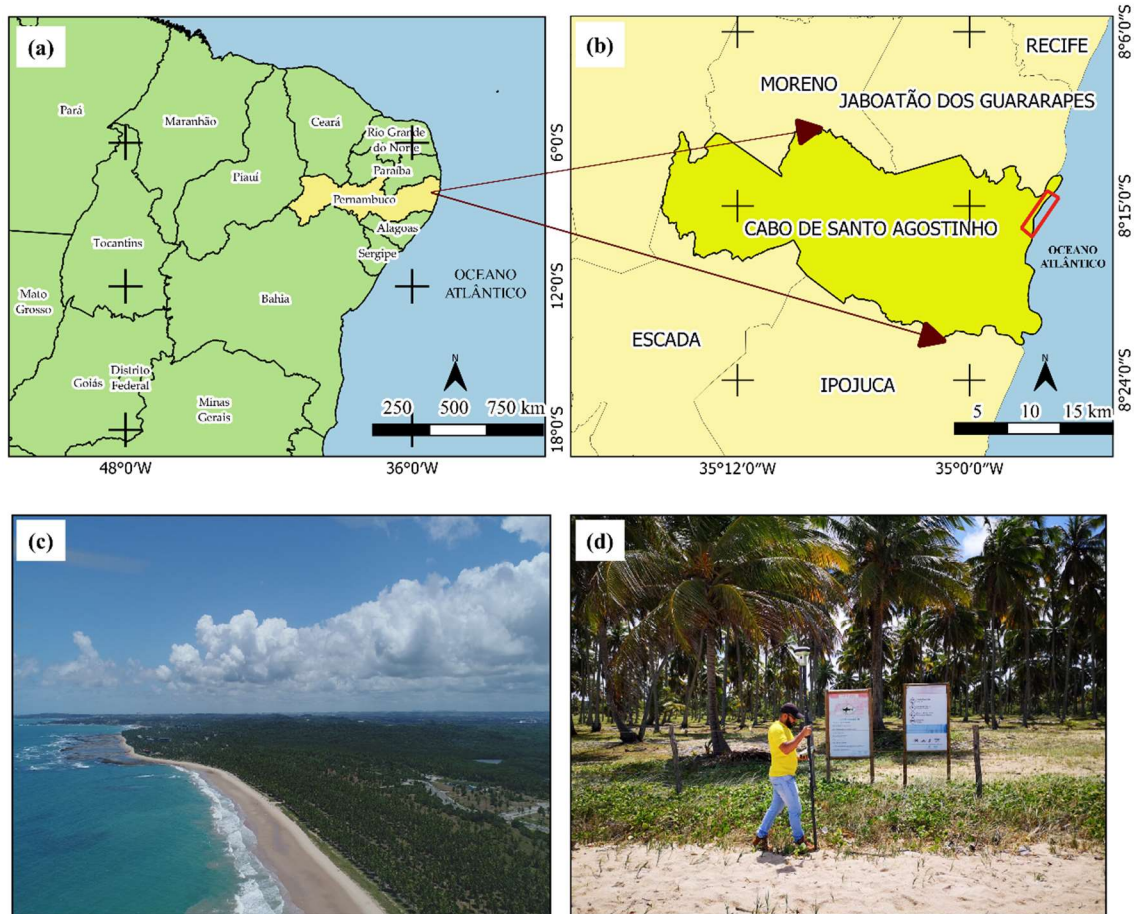
A metodologia aplicada nesse estudo é apresentada nos tópicos abaixo

4.1 ÁREA DE ESTUDO

A praia do Paiva (Figura 1c) localiza-se no município de Cabo de Santo Agostinho, no litoral sul do Estado de Pernambuco (Figura 1b), pertence à Bacia Sedimentar Pernambuco (Lima Filho, 1998) e está inserida geograficamente na faixa costeira sul do referido Estado, entre os paralelos $8^{\circ} 15' 76''$ e $8^{\circ} 17' 89''$ de latitude sul, com limite a oeste no meridiano $34^{\circ} 57' 30''$ e a Leste na linha de costa. Faz parte da Região Metropolitana do Recife (RMR) e Microrregião de Suape, que compreende o principal polo industrial do estado, onde se encontra instalado o porto de Suape, um dos mais importantes complexos industriais e portuários do Brasil. A orla do município tem uma extensão de 24,1 Km e é composta pelas praias de Suape, Paraíso, Calhetas, Gaibu, Enseada dos Corais, Pedra do Xaréu, Itapuama e Paiva. O segmento escolhido localizado na praia do Paiva possui cerca de 1,2 km de extensão e uma área total de aproximadamente 72.000 m², estando entre a praia de Itapuama e a foz do Rio Jaboatão.

Holanda et al. (2020) indica que a praia do Paiva é caracterizada como uma praia oceânica exposta com regime de mesomaré de ciclo semidiurno, apresenta variação de 0 a 2,5 m de acordo com a classificação de Davies (1964). A praia apresenta preferencialmente três estágios morfodinâmicos, sendo classificados como TBM (Terraço de Baixa-mar), BPR (Banco e Praia Rítmicos) e BTR (Banco Transversal e Corrente de Retorno) em uma extensão de menos de 1,5 km, consta também a presença de feições como berma, cúspides e canais de Corrente de Retorno em mais de 1/3 da praia. Ressalta-se a elevada ocorrência de canais CRs (correntes de retorno) transversais à praia, sobretudo pelo fato de poucas praias de Pernambuco apresentarem tamanha ocorrência e distribuição, o que deve ser destacado como um alerta de cuidado para os banhistas e surfistas que frequentam essa praia. Parâmetros Relative Tide Range (RTR) e Ômega (Ω) inferem que se trata de uma praia dominada por onda com estágios intermediários, onde possuem maiores mudanças no período de inverno, causado pelo clima de onda para o local com Hs variando entre 1,61 a 3,39 m, Tp de 9,3 s de média e com direção de onda de E, ESE e SE

Figura 1 - (a) Estado de Pernambuco destacado no nordeste do Brasil; (b) retângulo em vermelho contendo a praia do Paiva, pertencente ao município de Cabo de Santo Agostinho em Pernambuco; (c) Foto aérea oblíqua da Praia do Paiva; (d) linha de vegetação mapeada através da trajetória percorrida por GNSS.



Fonte: O Autor (2021)

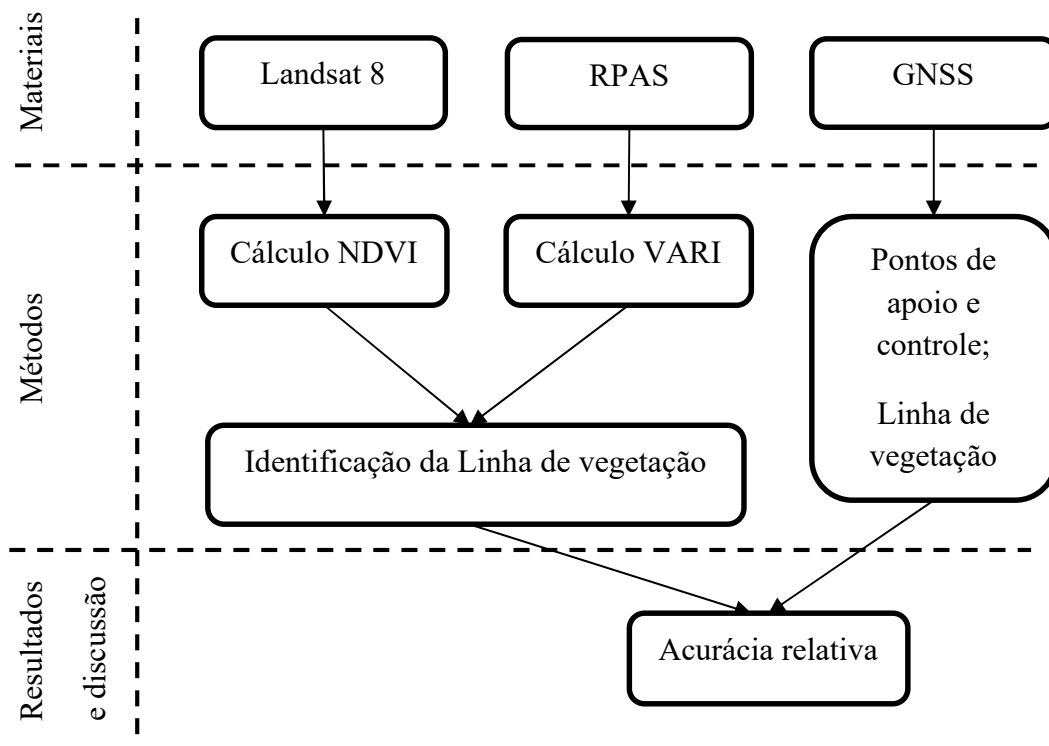
4.2 MATERIAIS

Os materiais utilizados nesta pesquisa são: (i) imagem de satélite Landsat 8 (ii) *DJI Phantom 4 Advanced*; (iii) Smartphones; (iv) pontos de controle pré-sinalizados de madeira medindo 40x40 cm; (v) um par de receptores GNSS modelo GS 15 (base e móvel) da *Leica* de dupla frequência (L1 e L2) rastreando as constelações GPS e GLONASS. Os aplicativos e softwares usados como materiais são: (vi) *Drone Deploy*; (vii) *Agisoft Photoscan*; (viii) *ArcGIS*; (ix) software *Leica Geo Office*; (x) software de processamento do IBGE-PPP (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística).

4.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A figura 2 apresenta um resumo contendo o fluxograma metodológico. Este inicia-se com a aquisição dos dados descritos nos itens 3.1, 3.2 e 3.3. Seguindo com a aquisição da imagem de satélites Landsat 8, do ortofoto mosaico a partir do RPAS e dos pontos de apoio, controle e a linha de vegetação utilizando GNSS. Com as imagens Landsat 8 e o ortofoto mosaico foram extraídos os índices de vegetação NDVI e VARI, respectivamente. A linha de vegetação obtida por levantamento GNSS atuou como valor de referência para verificar a acurácia relativa dos métodos anteriores.

Figura 2 - Fluxograma Metodológico



Fonte: O Autor (2021)

5 RESULTADOS

Os resultados estão apresentados nos tópicos abaixo

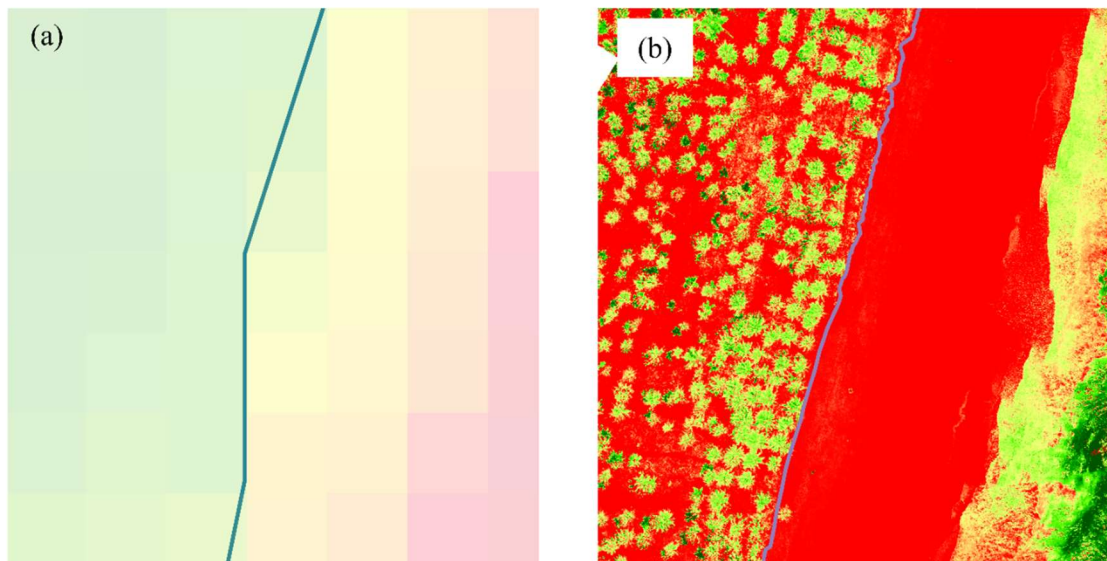
5.1 GNSS

Após pós processamento os levantamentos GNSS apresentaram os seguintes resultados: (i) para a base conforme o relatório PPP/IBGE: desvio padrão de 1,0 cm para a latitude, de 3,0 cm para a longitude e de 3,0 cm para a altitude; (ii) para a linha de vegetação cinemática com precisão planimétrica de 1,7 cm e altimétrica de 1,8 cm e (iii) para os pontos de apoio e controle RPAS apresentaram um erro planimétrico em média de 3,2 cm e altimétrico de 4,5 cm. Mendonça et al. (2014) utilizam o método GNSS cinemático para monitoramento costeiro da linha de costa através do cálculo das suas variações temporais onde foi destacado como vantagens a capacidade de produzir dados consistentes para análises temporais, rapidez para pequenas áreas de estudo e baixo custo operacional quando comparado com outros métodos como o LIDAR. Já como desvantagens são apresentadas a inviabilidade para o mapeamento em áreas de manguezais e costões rochosos. Em um outro exemplo de aplicações GNSS para o mapeamento de linha de costa (Marques et al., 2019) acoplado um receptor GNSS a um quadriciclo descrevem os resultados deste mapeamento para o estado de Pernambuco, utilizando a linha de costa obtida por GNSS como um indicativo para a lei de gerenciamento costeiro deste estado, obtendo a precisão decimétrica para o mapeamento cinemático com o método GNSS PPP.

5.2 NDVI E VARI

Quando comparado visualmente a figura 3 (a) e (b) é possível verificar a diferença da resolução espacial entre a imagem de satélite (30m) e o ortofoto mosaico (3,22cm). Portanto o tamanho do pixel de uma imagem digital influencia na posição da linha de vegetação em questão, onde é possível perceber que o traçado da linha de vegetação na figura 3 (b) possui mais detalhes do que na figura 3 (a).

Figura 3 - Linha de vegetação identificadas através NDVI (a), VARI (b)



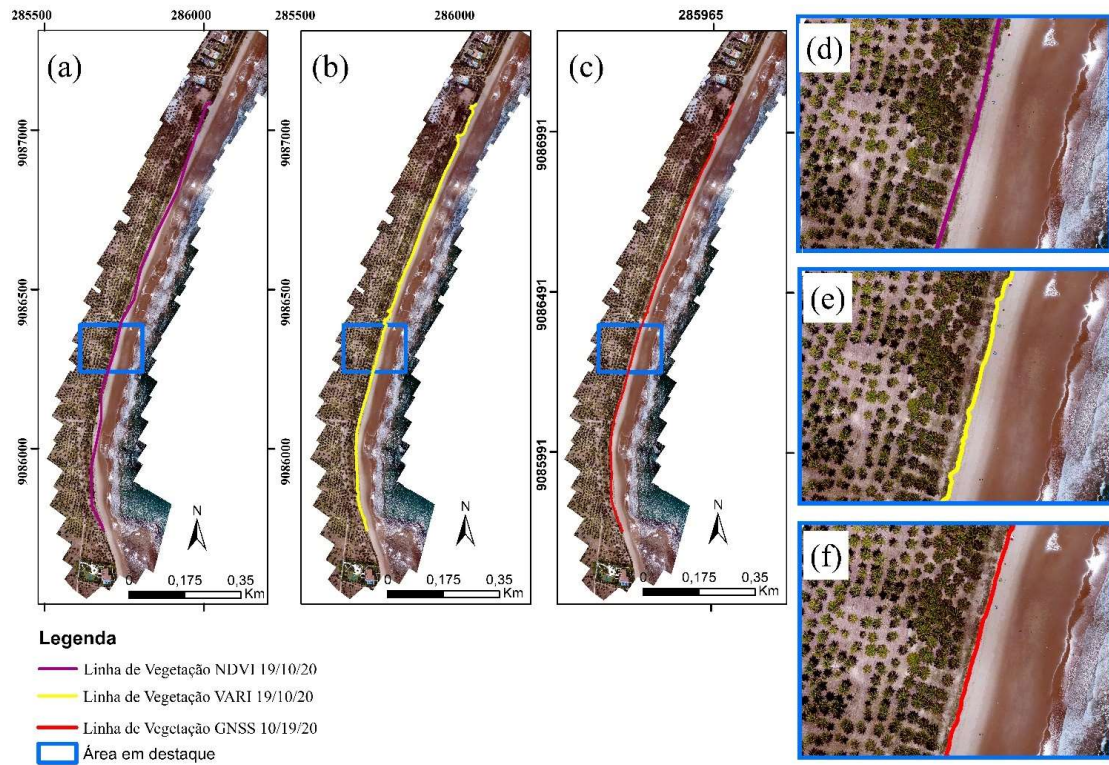
Fonte: O Autor (2021)

A figura 4 (a) apresenta a linha de vegetação identificada através do NDVI e em (b) a linha de vegetação identificada através do VARI. Em ambas as figuras é possível verificar a identificação das linhas de vegetação sobre o ortofoto mosaico.

Na figura 4 (c) é apresentada a linha de vegetação identificada através do levantamento e pós processamento GNSS (item 2.2.3).

Utilizando a metodologia citada (item 2.2.2), na figura 4 (b) mostra a linha de vegetação extraída conforme o cálculo do VARI para outubro de 2020. No qual já é perceptível que esse índice pode ser usado para este fim.

Figura 4 - Linha de vegetação identificadas através NDVI (a), VARI (b) e GNSS (c); área em destaque para as linhas de vegetação identificadas através do NDVI (d), VARI (e) e GNSS (f).



Fonte: O Autor (2021)

5.3 ACURÁCIA RELATIVA ENTRE AS LINHAS DE VEGETAÇÃO (GNSS e VARI) e (GNSS e NDVI)

A tabela 1 apresenta os resultados de acurácia relativa obtidos a partir das equações 3, 4 e 5. A linha de vegetação do VARI apresentou um desvio médio de 85,57cm em relação a linha de vegetação do GNSS, tendo uma distância mínima de 0,0cm (ponto de intersecção), máxima de 386,10cm, desvio padrão de 197,09cm e erro médio quadrático de 127,90cm. Analisa-se uma variação grande entre as linhas de vegetação do GNSS e NDVI, a máxima distância foi de 1522,20cm para a linha de vegetação com mínima de 72,00cm, desvio médio de 639,92cm, desvio padrão de 402,70cm e erro médio quadrático de 752,38cm.

Tabela 1 - Estatísticas das distâncias entre a LV GNSS e NDVI, LV GNSS e VARI

Resultados	LV GNSS e NDVI	LV GNSS e VARI
Desvio médio (cm)	639,92	85,57
Desvio Padrão (cm)	402,70	197,09
Erro médio Quadrático (cm)	752,38	127,90
Máxima (cm)	1522,20	386,10
Mínima (cm)	72,00	0,00

Fonte: O Autor (2021)

Figura 5 - Comparação entre a linha de vegetação identificada através do GNSS e a linha de vegetação identificada através do VARI.



Fonte: O Autor (2021)

5.4 APLICABILIDADE E LIMITAÇÕES DOS MÉTODOS

Para uma análise espaço temporal de décadas este método é bastante utilizado nas zonas costeiras (e.g., El-Asmar et al., 2014) para entender as mudanças em um período de 27 anos faz uso das informações provenientes imagens de satélite, Ndour et al. (2018), avaliou um período de 32 anos, Vos et al. (2019) utilizou dados relativos a 31 anos combinando imagens Landsat 5-8 e Sentinel-2 e Neelamani (2018), usou o Landsat 5 e fotografias aéreas para 18 anos de mudança. No entanto, para estender as séries temporais e outras fontes de dados diferentes, é impossível manter a mesma resolução espacial. Por exemplo, as imagens do Landsat 5 têm 30 m resolução espacial, Sentinel-2 tem bandas com 10, 20 e 60 m, o Landsat 8 tem 15 m na pancromático e 30 m na multiespectral. Por outro lado, RPAS podem chegar em torno de 2,5 cm de resolução espacial, aumentando consideravelmente o nível de detalhe da imagem em comparação com as imagens de satélites.

Nesse contexto, percebe-se que a aplicabilidade do RPAS para a identificação da linha de vegetação torna-se viável, porém espera-se que as imagens de satélite tenham a abrangência maior da área, como visto nos trabalhos de Xu (2018); De Araujo (2017); Li (2016); Rodrigues (2011) e De França (2003), que usam as imagens de satélite para o mapeamento das mudanças relacionadas a linha de costa para a identificação dos processos de erosão e progradação costeira. Porém utilizando o RPAS é obtido uma resolução espacial melhor e para obter a mesma resolução em uma imagem de satélite é necessário um custo maior.

6 CONCLUSÕES

Neste estudo foram utilizados os métodos de identificação de linhas de vegetação, NDVI, VARI e GNSS na praia do Paiva no município de Cabo de Santo Agostinho. Uma vez identificadas as linhas de vegetação, definiu-se a linha de vegetação identificada do GNSS como referência e a partir dela se mediu as distâncias das linhas de vegetação identificadas do NDVI e VARI.

Os resultados encontrados indicaram que (i) a linha de vegetação do VARI apresenta maior detalhamento quando comparada com a obtida pelo NDVI, isso se deve às próprias características de resolução espacial entre os produtos que geram os índices em torno de 3cm para RPAS e 30m para este tipo de imagem de satélite LANDSAT 8; (ii) as limitações por condições climáticas e resolução temporal das imagens de satélite podem não atender a expectativa específica de um levantamento de linha de vegetação, pois na área costeira alguns indicativos são em função da maré, o que normalmente acontece na prática são trabalhar com dados aproximados. Por outro lado, o uso de RPAS pode ser devidamente planejado; (iii) a identificação da linha de vegetação pelo VARI muito próxima quando comparada a linha de vegetação pelo GNSS, uma vez que a distância média entre as seções transversais foi em torno de 85,57cm. O VARI é uma alternativa quando não há sensor NIR acoplados em RPAS para identificar a vegetação ou até mesmo a linha d'água e demais características da geomorfologia costeira (iv) a nível de monitoramento dos ambientes costeiros utilizando RPAS, GNSS e imagens de satélites gratuitas apresentam algumas vantagens e limitações dependendo do método e objetivo da pesquisa, as imagens de satélites gratuitas apresentam baixo custo para sua aquisição, contudo, para monitoramento costeiro de precisão recomenda-se a compra de imagens o que pode tornar projetos inviáveis pelo custo. O GNSS apresenta vantagens na precisão e limitações a inviabilidade para algumas feições costeiras como costões rochosos, áreas de mangues ou, por exemplo, para monitorar áreas muito grandes. Por fim, é possível explorar ainda mais o RPAS, possuindo além de ortofotos mosaicos produtos cartográficos, como DEM (Modelos Digital de Elevação) que podem ser utilizados em áreas costeiras para o cálculo de volume de sedimentos.

REFERÊNCIAS

- AHMED, K. R.; AKTER, S. **Analysis of landcover change in southwest Bengal delta due to floods by NDVI, NDWI and K-means cluster with Landsat multi-spectral surface reflectance satellite data.** Remote Sensing Applications: Society and Environment, v. 8, p. 168-181, 2017.
- AKBARINASAB, M.; SAFARRAD, T.; AKBARZADEH, M. **Detection of Coastline Using Satellite Image-Processing Technique.** Environmental Erosion Research Journal, v. 7, n. 4, p. 58-81, 2018.
- ALPHAN, H.; DERSE, M. A. **Detecção de mudança no sul da Turquia usando índice de vegetação de diferença normalizada (NDVI).** Jornal de Engenharia Ambiental e Gestão da Paisagem, v. 21, n. 1, pág. 12-18, 2013.
- ARAÚJO, I. R. G. DE; GOMES, É. R.; GONÇALVES, R. M.; QUEIROZ, H. A. A.; **Estimativa do índice de vulnerabilidade à erosão costeira (IVC) para o litoral do Piauí, Brasil.** Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 20, n. 1, p. 105-118, 2019.
- BAIOCCHI, V.; BRIGANTE, R.; DOMINICI, D.; RADICIONI, F. **Coastline detection using high resolution multispectral satellite images.** In: Proceedings of FIG Working Week. 2012.
- BALLESTEROS, R., ORTEGA, JF, HERNANDEZ, D., DEL CAMPO, A., & MORENO, MA. **Uso combinado de informações de sensoriamento remoto agro-climáticas e de alta resolução para monitoramento de safras.** Jornal internacional de observação da terra aplicada e geoinformação, 72, 66-75. 2018.
- BENLIAY, A.; ALTUNTAŞ, A. **Using NDVI to Assess Vegetative Land Cover Change in Coastline of Belek, Antalya.** Journal of selçuk university natural and applied science, v. 11, 2014.
- BOAK, E. H.; TURNER, I. L. **Shoreline definition and detection: a review.** Journal of coastal research, v. 21, n. 4, p. 688-703, 2005.
- BUSH, D. M.; NEAL, W. J.; YOUNG, R. S.; PILKEY, O. H. **Utilization of geoindicators for rapid assessment of coastal-hazard risk and mitigation.** Ocean and Coastal Management, v. 42, p. 647–670, 1999.
- CHEN, B.; YANG, Y.; WEN, H.; RUAN, H.; ZHOU, Z.; LUO, K.; ZHONG, F. **High-resolution monitoring of - Beach topography and its change using unmanned aerial vehicle imagery.** Ocean and Coastal Management, v. 160, n. April, p. 103–116, 2018.
- CHOUHAN, R. AND RAO, N. **Vegetation Detection in Multispectral Remote Sensing images: Protective Role-Analysis of Vegetation. Indian Ocean Tsunami.** PDPM Indian Institute of Information Technology, 2017.
- DA SILVA, G. P.; GONÇALVES, R. M.; TANAJURA, E. L. X. **Levantamento geodésico GNSS-RTK para o mapeamento da Linha de Costa.** IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, p. 1 - 9, 2012.

DAVIES, J. L. **Morphogenetic approach to world shorelines.** Zeitschrift fur Geomorphologie, v. 8, p. 127–142, 1964.

DE ARAÚJO, I. R. G.; GOMES, É. R. **Análise multitemporal da linha de costa da praia de Macapá no litoral do Piauí a partir de imagens Landsat.** Caderno de Geografia, v. 27, n. 1, p. 189-200, 2017.

DE FARIAS, E. G. G.; MAIA, L. P. **Uso de técnicas de geoprocessamento para a análise da evolução da linha de costa em ambientes litorâneos do Estado do Ceará, Brasil.** Revista de Gestão Costeira Integrada. v. 10, n. 4, p. 521-544, 2010.

DE FRANÇA, C. F.; SOUZA FILHO, P. W. M. E. **Análise das mudanças morfológicas costeiras de médio período na margem leste da Ilha de Marajó (PA) em imagem Landsat.** Revista Brasileira de geociências, v. 33, n. suppl. 2, p. 127-136, 2003.

DE OLIVEIRA, L.; DA SILVA PONTES, G.; FELIPE BRUCH, A.; CIROLINI, A. **Avaliação da vulnerabilidade à erosão na praia da Capilha-RS através de NDVI.** Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão, v. 11, n. 2, 28 ago. 2020.

DRUMMOND, C. D.; HARLEY, M. D.; TURNER, I. L.; MATHEEN, A. N. A.; GLAMORE, W. C. **UAV applications to coastal engineering.** Australian Coasts and Ports 2015 Conference, n. August 2016, p. 0–6, 2015.

EL-ASMAR, H. M.; EL-KAFRAWY, S. B.; TAHA, M. M. N. **Monitoring coastal changes along Damietta Promontory and the barrier beach toward Port Said east of the Nile Delta, Egypt.** Journal of Coastal Research, v. 30, n. 5, p. 993-1005, 2014.

GIANNINI, M. B.; PARENTE, C. **An object based approach for coastline extraction from Quickbird multispectral images.** Int. J. Eng. Technol, v. 6, n. 6, p. 2698-2704, 2015.

GIL, H. A. P.; PACHECO, A. J. M. **RGB Spectral Indices for the Analysis of Soil Protection by Vegetation Cover against Erosive Processes.** In: Soil Erosion-Current Challenges and Future Perspectives in a Changing World. IntechOpen, 2020.

GONÇALVES, R. M., SALEEM, A., QUEIROZ, H. A., AWANGE, J. L. **A fuzzy model integrating shoreline changes, NDVI and settlement influences for coastal zone human impact classification.** Applied Geography, 113, 102093. 2019.

GONÇALVES, J. A.; HENRIQUES, R. **UAV photogrammetry for topographic monitoring of coastal areas.** ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, v. 104, p. 101–111, 2015.

GUISADO-PINTADO, Emilia; JACKSON, Derek WT. **Multi-scale variability of storm Ophelia 2017: The importance of synchronised environmental variables in coastal impact.** Science of the Total Environment, v. 630, p. 287-301, 2018.

HOLANDA, T.F., GONÇALVES, R.M., LINO, A.P., PEREIRA, P.S., SOUSA, P.H.G.O. **Classificação das variações morfodinâmicas e processos costeiros, praia do Paiva, PE, Brasil.** Revista Brasileira de Geomorfologia 21, 235-251, -2020.

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

LEATHERMAN, S. P. **Shoreline change mapping and management along the US East Coast.** Journal of Coastal Research, p. 5-13, 2003.

LI, W.; GONG, P. **Continuous monitoring of coastline dynamics in western Florida with a 30-year time series of Landsat imagery.** Remote Sensing of Environment, v. 179, p. 196-209, 2016.

LIMA FILHO, M.F. **Análise estratigráfica e estrutural da Bacia Pernambuco. Tese de Doutorado.** Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica, Universidade de São Paulo – Instituto de Geociências, São Paulo, p.2–20. 1998

LIMA, J. C. R. **Análise da variação da linha de costa no litoral do município de Paracuru, Ceará-Brasil. 2019.**

MAGLIONE, P.; PARENTE, C.; VALLARIO, A. **Extração da costa usando imagens de satélite WorldView-2 de alta resolução.** European Journal of Remote Sensing, v. 47, n. 1, pág. 685-699, 2014.

MARTINS, K. A. PEREIRA, P. S.; LINO, A. P.; GONÇALVES, R. M. **Determinação da erosão costeira no estado de pernambuco através de geoindicadores.** Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 3, p. 533–546, 2016.

MARQUES, H. A., GONÇALVES, R. M., ARAUJO, A. D. S., PEREIRA, P. D. S., QUEIROZ, H. A. D. A. **Shoreline Monitoring By GNSS-PPP Aiming to Attendance the Law 14.258/2010 From Pernambuco State, Brazil.** Boletim de Ciências Geodésicas, v. 25, 2019.

MENDONÇA, F. J. B., GONÇALVES, R. M., AWANGE, J., SILVA, L. M. D., GREGÓRIO, M. D. N. **Temporal shoreline series analysis using GNSS.** Boletim de Ciências Geodésicas, v. 20, p. 701-719, 2014.

MITRA, S. S.; MITRA, D.; SANTRA, A. **Performance testing of selected automated coastline detection techniques applied on multispectral satellite imageries.** Earth Science Informatics, v. 10, n. 3, p. 321-330, 2017.

MOORE, L.J. **Shoreline Mapping Techniques.** Journal of Coastal Research, v.16, n.1, p. 111-124, 2000.

NEELAMANI, S. **Coastal erosion and accretion in Kuwait—problems and management strategies.** Ocean & Coastal Management, v. 156, p. 76-91, 2018.

NDOUR, A., LAÏBI, R. A., SADIO, M., DEGBE, C. G., DIAW, A. T., OYÉDÉ, L. M., SAMBOU, H. **Management strategies for coastal erosion problems in west Africa: Analysis, issues, and constraints drawn from the examples of Senegal and Benin.** Ocean & Coastal Management, v. 156, p. 92-106, 2018.

PINTO, L.; FERNANDES, L. **Multitemporal analyses of the vegetation cover of coastal sand dune ecosystems in Natal/RN, based on NDVI index**. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. INPE, Curitiba, PR, Brasil, p. 1895-1901, 2011.

QUEIROZ, H. A. **Classificação da faixa litorânea através do índice de vegetação NDVI e sua correlação com a vulnerabilidade à erosão costeira**. 2017. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

ROCHA, C. P.; ARAÚJO, T. C. M.; MENDONÇA, F. J. B. **Aplicação de metodologia alternativa para localizar e monitorar linhas de costa usando técnicas de posicionamento pelo GNSS: Um estudo de caso na praia de Sauaçu, Nordeste do Brasil**. Revista de Gestão Costeira Integrada-Journal of Integrated Coastal Zone Management, v. 9, n. 1, p. 93-108, 2009.

RODRIGUES, S. W. P. **Análise da variação da linha de costa a noroeste do Estado do Pará (Baía de Curuçá) através das imagens Landsat TM e ETM e CBERS 2B**. 2011.

SCHUCKNECHT, A., ERASMI, S., NIEMEYER, I., & MATSCHULLAT, J. **Assessing vegetation variability and trends in north-eastern Brazil using AVHRR and MODIS NDVI time series**. European Journal of Remote Sensing, 46(1), 40-59. 2013.

SHARPLES, C. **Indicative Mapping of Tasmanian Coastal Vulnerability to Climate Change and Sea-Level Rise: Explanatory Report**. Tasmania, AU: 116p, 2006.

SOUSA, R. S.; VALLADARES, G. S.; DE ESPÍNDOLA, G. M. **Análise do índice de Vegetação (NDVI) e vulnerabilidade ambiental da Planície costeira do estado do Piauí**. Revista da Casa da Geografia de Sobral, v. 18, n. 2, p. 3, 2016.

SUN, C.; FAGHERAZZI, S.; LIU, Y. **Classification mapping of salt marsh vegetation by flexible monthly NDVI time-series using Landsat imagery**. Estuarine, Coastal and Shelf Science, v. 213, p. 61-80, 2018.

VALDERRAMA-LANDEROS, L., FLORES-VERDUGO, F., RODRÍGUEZ-SOBREYRA, R., KOVACS, JM, & FLORES-DE-SANTIAGO, F. **Extrapolar informações de fenologia do dossel usando dados do Sentinel-2 e a plataforma Google Earth Engine para identificar as datas ideais para aquisição de imagens de sensoriamento remoto de manguezais semiáridos**. Journal of Environmental Management, 279, 111617. 2021.

VOS, K., HARLEY, M. D., SPLINTER, K. D., SIMMONS, J. A., TURNER, I. L. **Sub-annual to multi-decadal shoreline variability from publicly available satellite imagery**. Coastal Engineering, v. 150, p. 160-174, 2019.

XU, N. **Detecting coastline change with all available landsat data over 1986–2015: A case study for the state of Texas, USA**. Atmosphere, v. 9, n. 3, p. 107, 2018.