

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL**

**IMPACTOS AMBIENTAIS ANTES, DURANTE E PÓS PERÍODO DE LOCKDOWN
(COVID-19) NAS ÁGUAS DOS RIOS CAPIBARIBE E TEJIPIÓ, BRASIL**

Maria Eduarda Gonçalves de Oliveira

Orientador: Prof. Dr. Gledson Luiz Pontes de Almeida

Co-orientador: Prof. Dr. Marcos Vinícius da Silva

Recife, Setembro de 2023

**IMPACTOS AMBIENTAIS ANTES, DURANTE E PÓS PERÍODO DE LOCKDOWN
(COVID-19) NAS ÁGUAS DOS RIOS CAPIBARIBE E TEJIPIÓ, BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Agrícola e Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), como um dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Agrícola.

Orientador: Gledson Luiz Pontes de Almeida

Coorientador: Marcos Vinícius da Silva

Recife, Brasil

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- O48i de Oliveira, Maria Eduarda Gonçalves
Impactos ambientais antes, durante e pós período de lockdown (COVID-19) nas águas dos rios Capibaribe e Tejipió,
Brasil / Maria Eduarda Gonçalves de Oliveira. - 2023.
28 f.
- Orientador: Gledson Luiz Pontes de Almeida.
Coorientador: Marcos Vinicius da Silva.
Inclui referências.
- Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Bacharelado em
Engenharia Agrícola e Ambiental, Recife, 2022.
1. meio ambiente. 2. coronavírus. 3. Google Earth Engine. 4. qualidade da água. 5. Sentinel-2. I. Almeida, Gledson
Luiz Pontes de, orient. II. Silva, Marcos Vinicius da, coorient. III. Título



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL

DOCUMENTO DE REGISTRO DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos cinco dias do mês de setembro de dois mil e vinte e três às 14h00min, realizou-se a defesa de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado: "IMPACTOS AMBIENTAIS ANTES, DURANTE E PÓS PERÍODO DE LOCKDOWN (COVID-19) NAS ÁGUAS DOS RIOS CAPIBARIBE E TEJIPIÓ, BRASIL", pela discente **Maria Eduarda Gonçalves de Oliveira** de acordo com as Normas Gerais dos Cursos de Graduação da Universidade Federal Rural de Pernambuco e complementadas pelas Normas Internas (PPC) do Bacharelado em Engenharia Agrícola e Ambiental aprovadas pelo Colegiado de Coordenação Didática do Curso.

A Comissão examinadora foi composta pelos professores:

Gledson Luiz Pontes de Almeida (Orientador)
Héilton Pandorfi (Membro participante)
Hernande Pereira da Silva (Membro participante)
Marcos Vinícius da Silva (Membro participante)

Após a apresentação do TCC e efetuadas as arguições, a aluna recebeu da comissão examinadora os seguintes conceitos:

Membros:	Nota
Gledson Luiz Pontes de Almeida	10,0 (dez vírgula zero)
Héilton Pandorfi	10,0 (dez vírgula zero)
Hernande Pereira da Silva	9,5 (nove vírgula cinco)
Marcos Vinícius da Silva	9,7 (nove vírgula sete)

De acordo com os conceitos atribuídos a aluna foi considerada aprovada, obtendo nota média de 9,8 (nove vírgula oito), devendo proceder às correções necessárias e entregar a versão final do TCC no prazo máximo de 30 (trinta) dias.

Conferem o presente documento, que não apresenta rasuras nem emendas as seguintes pessoas:

(Orientador)

(Membro participante)

(Membro participante)

(Membro participante)

Aluna: Maria Eduarda Gonçalves de Oliveira _____

Secretariada por Tatiana Menezes de Souza _____

Recife, 05 de setembro de 2023.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus pela minha vida, por toda proteção, por tantas bênçãos e por cada detalhe até aqui.

À minha família, por todo apoio em todas as fases da minha vida e principalmente na graduação, em especial aos meus pais, Eric e Edjane, por serem pessoas incríveis, exemplos de perseverança, fé e amor, nada seria possível sem a ajuda e o carinho de vocês! Às minhas irmãs, Erica e Emília, que são o meu complemento, onde encontro ajuda, refúgio e conforto. À minha avó Edite, por toda a torcida e ensinamento, és meu maior exemplo de força e determinação.

Aos meus amigos, pela parceria e incentivos nos momentos difíceis da graduação, pela compreensão das ausências e comemoração das vitórias. Nomeadamente a minha dupla desde o primeiro dia de aula, Ingrid Nascimento, por não soltar minha mão em nenhum momento.

Ao meu namorado, Ramon, por todo apoio e incentivo, você tornou essa jornada mais leve.

Ao GPESA por tanto acolhimento e incontáveis ensinamentos transmitidos, sem dúvidas, o melhor grupo de pesquisa da UFRPE! Onde tive a oportunidade de ser orientada pelo professor Gledson Luiz Pontes de Almeida e co-orientada pelo doutor Marcos Vinícius da Silva, pessoas incríveis que me guiaram com sabedoria durante a graduação e aos quais serei eternamente grata.

Agradeço também a oportunidade de estudar na Universidade Federal Rural de Pernambuco, onde criei e vivi muitos sonhos, fiz grandes amigos, adquiri vários conhecimentos, não só em Engenharia agrícola e ambiental, mas de como ser um humano melhor, convivi com professores admiráveis e fui muito feliz durante toda a trajetória!

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. MATERIAL E MÉTODOS	11
2.1. Caracterização da área de estudo	11
2.2. Caracterização hidrológica dos Rios Capibaribe e Tejipió.....	12
2.3. Aquisição das imagens do MSI/Sentinel-2 e Algoritmo SPM	12
2.4. Caracterização pluviométrica na região de estudo.....	14
2.5. Análise estatísticas	14
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
3.1. Caracterização pluviométrica	17
3.2. Dinâmica espaço temporal da turbidez nas águas.....	18
3.3. Análise cluster.....	24
4. CONCLUSÕES.....	25
5. SOFTWARE AVAILABILITY	25
6. REFERÊNCIAS	26

RESUMO

Objetivou-se com esse estudo avaliar os impactos da COVID-19 e a influência do lockdown, associada a pluviosidade, nos padrões de qualidade das águas fluviais dos rios Capibaribe e Tejipió, Recife – Nordeste do Brasil (NEB), utilizando sensoriamento remoto em nuvem na plataforma Google Earth Engine. O estudo foi realizado com base em 8 imagens do sistema-sensor Sentinel-2/MSI. Dentre as imagens selecionadas, duas são referentes ao ano de 2019 (antes da pandemia), três referentes a 2020 (durante pandemia), duas do período de Lockdown (2020) e uma para o ano de 2021. A turbidez da água foi determinada pelo algoritmo Suspended Particulate Matter (SPM). Os dados de turbidez da água foram submetidos à estatística descritiva e multivariada. A dinâmica das águas do rio Capibaribe e Tejipió é extremamente significativa a quaisquer mudanças ambientais, climática e/ou antrópica. Os valores de turbidez nos corpos hídricos variaram de 6 mg. L⁻¹ até 40 mg. L⁻¹. Com base na análise de agrupamentos Cluster Analysis (CA), houve a formação de 3 grupos (Cluster 1, Cluster 2 e Cluster 3) e a formação de 2 pares não agrupados (NC's), para o período de estudo. Os impactos gerados pela COVID-19 durante o lockdown na dinâmica da turbidez das águas dos rios Capibaribe e Tejipió foram pronunciadas, apresentando reduções significativas. A redução da atividade antrópica gerada pelo lockdown possibilitou melhorias na qualidade das águas desses rios urbanos.

Palavras-chave: meio ambiente; coronavírus; Google Earth Engine; qualidade da água; Sentinel-2.

ABSTRACT

The coronavirus pandemic has seriously affected human health, although some improvements on environmental indexes have temporarily occurred, due to changes on socio-cultural and economic standards. The objective of this study was to evaluate the impacts of the coronavirus and the influence of the lockdown associated with rainfall on the water quality of the Capibaribe and Tejipio ´ rivers, Recife, Northeast Brazil, using cloud remote sensing on the Google Earth Engine (GEE) platform. The study was carried out based on eight representative images from Sentinel-2. Among the selected images, two refer to the year 2019 (before the pandemic), three refer to 2020 (during a pandemic), two from the lockdown period (2020), and one for the year 2021. The land use and land cover (LULC) and slope of the study region were determined and classified. Water turbidity data were subjected to descriptive and multivariate statistics. When analyzing the data on LULC for the riparian margin of the Capibaribe and Tejipio ´ rivers, a low permanent preservation area was found, with a predominance of almost 100% of the urban area to which the deposition of soil particles in rivers are minimal. The results indicated that turbidity values in the water bodies varied from 6 mg. L⁻¹ up to 40 mg. L⁻¹ . Overall, the reduction in human based activities generated by the lockdown enabled improvements in water quality of these urban rivers.

Keywords: environment; coronavirus; Google Earth engine; water quality; Sentinel-2.

Impactos ambientais antes, durante e pós período de lockdown (COVID-19) nas águas dos rios Capibaribe e Tejipió, Brasil

Maria Eduarda Gonçalves de Oliveira^a, Marcos Vinícius da Silva^{a*}, Gledson Luiz Pontes de Almeida^a, Héilton Pandorfi^a, Pabrcio Marcos Oliveira Lopes^{a, b}, Diego Rosyur Castro Manrique^a, Anderson dos Santos^a, Alexandre Maniçoba da Rosa Ferraz Jardim^a, Pedro Rogerio Giongo^c, Abelardo Antônio de Assunção Montenegro^a, Carlos Antonio da Silva Junior^d, José Francisco de Oliveira-Júnior^e

^aFederal Rural University of Pernambuco, Department of Agricultural Engineering, Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, Recife, Pernambuco, Brazil.

^bDepartment of Agronomy, Federal Rural University of Pernambuco, Dom Manoel de Medeiros avenue, SN, Dois Irmãos, Recife, Pernambuco, CEP: 52171-900, Brazil.

^cDepartment of Agricultural Engineering, State University of Goiás, Via Protestato Joaquim Bueno, 945, Perímetro Urbano, 75920-000, Santa Helena de Goiás, Goiás, Brazil.

^dDepartment of Geography, State University of Mato Grosso (UNEMAT), Sinop, MT, Brazil.

^eInstitute of Atmospheric Sciences (ICAT), Federal University of Alagoas (UFAL), 57072-260, Maceió, Alagoas, Brazil.

*Corresponding author:

M.V. da Silva, E-mail: marcolino_114@hotmail.com

Federal Rural University of Pernambuco – UFRPE

ORCID: 0000-0002-1318-2320

1. INTRODUÇÃO

A pandemia do novo coronavírus (COVID-19) atingiu os países de formas distintas (e.g., números de casos, período de lockdown, sistemas de saúde, economia, entre outros), sendo que na América do Sul, a ocorrência dos casos registrados do vírus foi mais tardia em relação a expansão da doença no mundo. Por outro lado, os casos no Brasil cresceram exponencialmente desde o primeiro registro no dia 25 de fevereiro de 2020 (Lancet, 2020). A pandemia afetou milhões de seres humanos direta e indiretamente através dos efeitos do vírus na saúde e concomitantemente a economia, em escala mundial, sendo o Brasil um dos países mais afetados (Brasil, 2020; Ferrante e Fearnside, 2020; Ferrante et al., 2020).

A recomendação principal por parte da Organização Mundial de Saúde (OMS) para conter a propagação do coronavírus é o distanciamento social e o uso de máscaras (Brasil, 2020; Farias e Araújo, 2020). No dia 11 de março de 2020 o Brasil iniciou as medidas legais de distanciamento de forma descentralizada, no qual os governos estaduais e municipais ficaram responsáveis por algumas determinações. No estado de Pernambuco, Nordeste do Brasil, foi adotada a medida restritiva em toda sua extensão geográfica (Moraes, 2020).

Em contrapartida, a calamidade vivenciada nesta pandemia mostrou efeitos colaterais positivos em relação à restauração do meio ambiente, devido à redução do fluxo de pessoas no âmbito urbano, seguido da redução nas atividades industriais e comerciais desde o início do ano de 2020, por consequência das medidas restritivas de isolamento social. Com reflexo em curto prazo, existem estudos que relataram a melhoria na qualidade do ar em países como França, Alemanha, Itália, Espanha e China (Nigam et al., 2021). Estudos recentes também apontam impactos positivos da pandemia para melhorias da qualidade do meio ambiente (Cheval et al., 2020; Lal et al., 2020; Nizetić, 2020; Barouki et al., 2021; Severo et al., 2021; Urban e Nakada, 2021).

Nesse contexto, também existem estudos que indicam melhorias na qualidade das águas fluviais, tal como o estudo realizado por Mani (2020) no Rio Ganges, na Índia, em que observou diferenças significativas na sua qualidade, após a redução da atividade industrial na região, imposta pelo lockdown, sendo que algumas áreas as águas apresentaram bons padrões de qualidade, até mesmo suficiente para o consumo humano, além da recuperação da vida aquática no rio. Em estudo similar realizado por Aman et al. (2020), os autores mostraram que os padrões de turbidez das águas do Rio Sabarmati, na Índia, antes, durante e após o período de lockdown, apresentaram reduções significativas da turbidez depois desse período.

Estudos baseados em análises de qualidade de água, comumente, são utilizados métodos tradicionais de análises físico-químicas via amostragem no campo e processadas em

laboratórios (Freyberg et al., 2017; Rostom et al., 2017; Bianchi et al., 2019; Saha et al., 2020). No entanto, essa forma de análise se torna inviável para grandes extensões, tais como rios e lagos, além do alto custo para esses procedimentos e o tempo necessário a ser despendido. Sendo assim, uma alternativa conveniente é o uso de técnicas de Sensoriamento Remoto (SR), que permite a caracterização indiretamente da qualidade de massas de águas extensas e em diferentes períodos temporais, tornando-se viável a análise de qualidade de água remotamente (Aman et al., 2020).

Estudos voltados à identificação e caracterização das mudanças ambientais impostas pela redução da atividade antrópica no meio, seguido da avaliação dos impactos gerados, são imprescindíveis para criação de políticas públicas a curto e longo prazo, além da conscientização populacional (Santos et al., 2020; Silva et al., 2020a; Silva et al., 2020b). Associado a isso, o uso efetivo de técnicas de SR e geoprocessamento de imagens de satélite, viabiliza a ampliação de estudos desse gênero de forma efetiva, confiável, prática e rápida (Silva et al., 2021).

Baseado no exposto, objetivou-se com esse estudo avaliar os impactos da COVID-19 e a influência do lockdown, associada a pluviosidade, nos padrões de qualidade das águas fluviais dos rios Capibaribe e Tejipió, Recife – Nordeste do Brasil (NEB), utilizando sensoriamento remoto em nuvem na plataforma Google Earth Engine.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado nos rios Capibaribe e Tejiptió localizados no município de Recife, Pernambuco (PE), NEB. As áreas estudadas compreendem os paralelos de 8°15'S e 8°7'S e, os meridianos de 34°53'W e 34°57'W (Figura 1). De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, o clima da região é “Am” clima tropical úmido ou subúmido (Alvares et al., 2013; Beck et al., 2018).

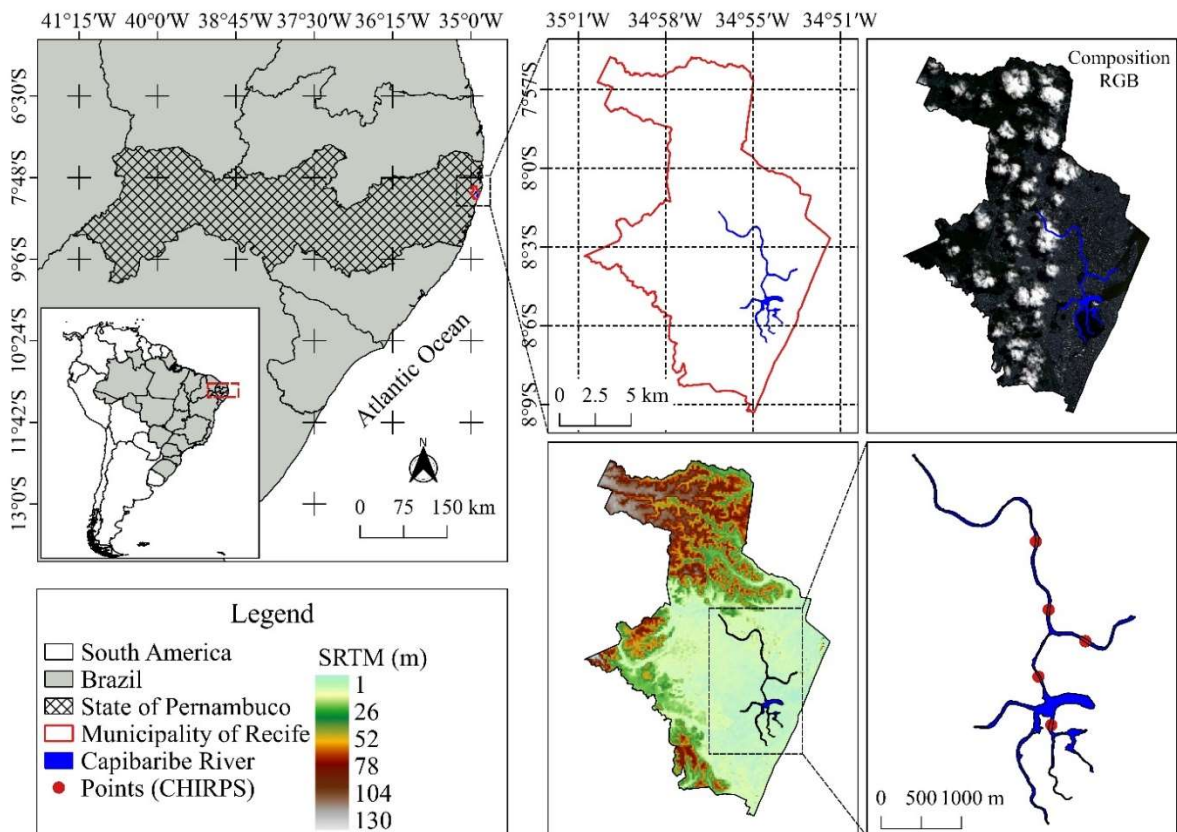


Figura 1. Caracterização da área de estudo, seguida da composição RGB (4-3-2) do Sentinel-2 e elevação (m) baseado em dados do Shuttle Radar Topography Mission – SRTM (30 m).

O município de Recife possui população estimada de 1.653.461 de habitantes, com extensão territorial de 218,843 km² e densidade demográfica de 7.555,466 hab. km⁻² (IBGE, 2020). O Município é banhado pelos rios Capibaribe e Tejiptió sob o domínio do bioma Mata Atlântica. Recife situa-se na mesorregião Metropolitana e compreende os Municípios que compõem a região litorânea do estado de PE.

A cidade do Recife apresenta 69,20% de domicílios com saneamento adequado, 60,50% de domicílios urbanos em vias públicas com arborização e 49,60% de domicílios urbanos em vias públicas com urbanização adequada (e.g., bueiro, calçada e pavimentação). Quando comparado com os outros municípios do estado, fica na posição 20 de 185, 107 de 185 e 1 de 185, respectivamente (IBGE, 2020).

2.2. Caracterização hidrológica dos Rios Capibaribe e Tejipió

O rio Capibaribe é o principal rio do litoral pernambucano (Figura 1). Sua nascente situa-se nas vertentes da Serra do Jacarará, município de Poção, a uma altitude de 1.100 m. Segundo levantamento da Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco (Condepe), realizado em 1980, a bacia hidrográfica do rio Capibaribe compreende uma área de 7.716 km², equivalente a 7,85% do território do estado de PE. O rio está dividido em Alto, Médio e Baixo Capibaribe, da nascente à foz, ele percorre as mesorregiões do Agreste, Zona da Mata e a Metropolitana do Recife. Possui cerca de 74 afluentes e banha 42 municípios pernambucanos (IBGE, 2020). Possui importantes barramentos, que são utilizados para abastecimento público, como a Barragem do Carpina, situada a aproximadamente 242 km da sua foz. As águas do Capibaribe sofrem fortes influências antrópicas ao longo de seu curso, e em particular em seu trecho na Região Metropolitana do Recife.

O rio Tejipió compõe a bacia hidrográfica do rio Capibaribe, com nascente em reserva de Mata Atlântica no município de São Lourenço da Mata e apresenta perda significativa de qualidade de suas águas à medida que atravessa as áreas urbanas.

2.3. Aquisição das imagens do MSI/Sentinel-2 e Algoritmo SPM

No estudo foram utilizadas 8 imagens de refletância na base da atmosfera do satélite Sentinel-2 sensor *MultiSpectral Instrument* (MSI) com nível de processamento 2A (projeção UTM/WGS84), fornecidas pela *European Space Agency* (ESA/Copernicus) disponível em <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/home>. Esse sensor possui resolução espacial de 10, 20 e 60 m, resolução radiométrica de 16 bits, tempo de revisita 5 (no Equador) e 13 bandas espectrais, das quais possui quatro bandas na região do visível e infravermelho próximo centradas, aproximadamente, em 493 nm (Azul), 560 nm (Verde), 665 nm (Vermelho) e 833 nm (Near Infra-Red). O identificador (ID) de cada imagem foi selecionado na base de dados espaciais da *National Aeronautics and Space Administration* via plataforma da *United States Geological Survey* (NASA/USGS, 2021) - (Tabela 1), para posterior processamento no Google Earth Engine (GEE). Das imagens selecionadas, duas foram referentes ao ano antes da pandemia

(2019), três referentes ao período da pandemia (2020), duas do período de Lockdown (2020) e uma para o ano de 2021. As imagens selecionadas foram baseadas no critério de menos de 15% de cobertura de nuvens.

Tabela 1. Datas da passagem do satélite Sentinel-2, seguido do dia Juliano (DJ), hora da passagem pela linha do equador (h, UTC = Unidade de tempo central, hora; minutos, segundos), ângulo de elevação solar (E, °) e azimute do Sol (a, °).

Datas	DJ	h (UTC)	E (°)	a (°)	Período a pandemia
01/13/2019	13	12h43min (p.m.)	28,89	121,23	Antes
03/19/2019	78	12h43min (p.m.)	27,03	75,82	Antes
04/12/2020	103	12h43min (p.m.)	29,46	55,93	Pandemia
05/02/2020	123	12h43min (p.m.)	32,91	44,81	Pandemia
05/27/2020	148	12h43min (p.m.)	37,15	37,86	Pandemia
06/21/2020	173	12h43min (p.m.)	39,39	37,08	Lockdown
08/25/2020	238	12h43min (p.m.)	30,55	53,76	Lockdown
01/17/2021	17	12h43min (p.m.)	28,87	119,35	Pandemia

Fonte: USGS/NASA (2021).

Foi feita a determinação da turbidez da água com base no algoritmo *Suspended Particulate Matter* (SPM). O SPM é calculado a partir da Eq. 1, proposta por Nechad et al. (2010):

$$S = \frac{A^p \rho_w}{1 - \rho_w / C^p} B^p \quad (1)$$

em que, ρ_w é a refletância da água na banda vermelha do satélite Sentinel-2 (665 nm), A^p e C^p são os coeficientes empíricos, e B^p é um fator de correção estabelecido por Nechad et al. (2010).

O processamento do modelo estabelecido por Nechad et al. (2010) foi realizado via processamento em nuvem na plataforma da Google Earth Engine (GEE). Após a obtenção dos mapas de turbidez para as frações dos rios estudadas foi gerado um mapa das respectivas datas escolhidas (Tabela 1) no software QGis versão 3.12.

2.4. Caracterização pluviométrica na região de estudo

A fim de verificar possíveis influências das chuvas sob os afluentes estudados foi feito um levantamento pluviométrico de 01/01/2019 a 31/01/2021, período correspondente a obtenção das imagens processadas. Foram selecionados 5 pontos aleatórios sobre a superfície dos afluentes estudados e extraídos os dados de chuva.

O produto obtido foi proveniente do *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation With Station Data* (CHIRPS), abrangendo 50°S-50°N (e todas as longitudes), o CHIRPS incorpora climatologia interna, imagens de satélite com uma resolução espacial de 0,05° x 0,05° e dados de precipitação medidos para produzir série temporal de grades de precipitação. O CHIRPS possui dados de precipitação de uma série de mais de 35 anos, partindo de 1981 até o presente momento. O CHIRPS possui uma periodicidade diária.

Os dados foram obtidos na plataforma Climate Engine (plataforma de processamento das imagens provenientes do CHIRPS, assim como, disponibiliza dados pontuais georreferenciados), disponibilizadas no seguinte endereço: <https://clim-engine-development.appspot.com/fewsNet>. Posteriormente, os dados foram tratados e gerados um gráfico informativo para análise da precipitação pluvial próxima ao período de obtenção das imagens.

Os dados de precipitação levantados, serviram de apoio para fins comparativos das chuvas sob a dinâmica das águas dos rios Capibaribe e Tejipló e assim associar as questões antrópicas sob a região de estudo.

2.5. Análise estatísticas

Os dados de variabilidade temporal foram submetidos à análise estatística descritiva para obtenção da média, mediana, mínimo, máximo, desvio padrão e coeficiente de variação (CV, %). O valor percentual do CV foi categorizado como baixo (CV < 12%); médio (se CV = 12–60%) e alto (quando o CV > 60%) - (Warrick e Nielsen, 1980), posteriormente, aplicou-se também o teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov (KS), sendo utilizado um nível de significância de $p \leq 0,01$.

Foi aplicada análise multivariada por meio da técnica de análise de agrupamento (Cluster Analysis - CA) via dendograma, a partir do método de Ward e com base na distância Euclidiana (Ward, 1963) para as datas das imagens do Sentinel-2. As similaridades foram atribuídas às datas por meio do cálculo da distância Euclidiana (d_{ij}) e pelo método hierárquico de Ward entre dois objetos (i e j), em que, quanto menor for a sua distância maior será a

similaridade quantitativa entre os indivíduos (Ward, 1963), conforme descrito nas Eqs. 2 e 3, respectivamente.

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^n (x_{ik} - x_{jk})^2} \quad (2)$$

em que, d_{ij} - distância Euclidiana; e x_{ik} e x_{jk} - dados observados nos postos meteorológicos dos municípios i e j , respectivamente.

$$W = \left[\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} (\sum x_i)^2 \right] \quad (3)$$

em que, W - variância mínima intergrupos pelo método hierárquico de Ward; n - número de elementos; e x_i - i -ésimo elemento do grupo.

A CA foi calculada no programa RStudio versão 3.6.1 (R Core Team, 2019).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A dinâmica das águas dos rios Capibaribe e Tejipló é extremamente sensível a quaisquer mudanças ambientais, climáticas e/ou antrópicas (e.g., precipitação, disposição de dejetos industriais, disposição de lixo urbano, entre outros) e, assim altera rapidamente sua turbidez, devido os rios passarem dentro do município de Recife e cortarem a mesorregião Metropolitana de Recife (IBGE, 2021). A Figura 2 apresenta as mudanças da superfície do rio Capibaribe no período de 1 semana, para o mês de abril de 2021.

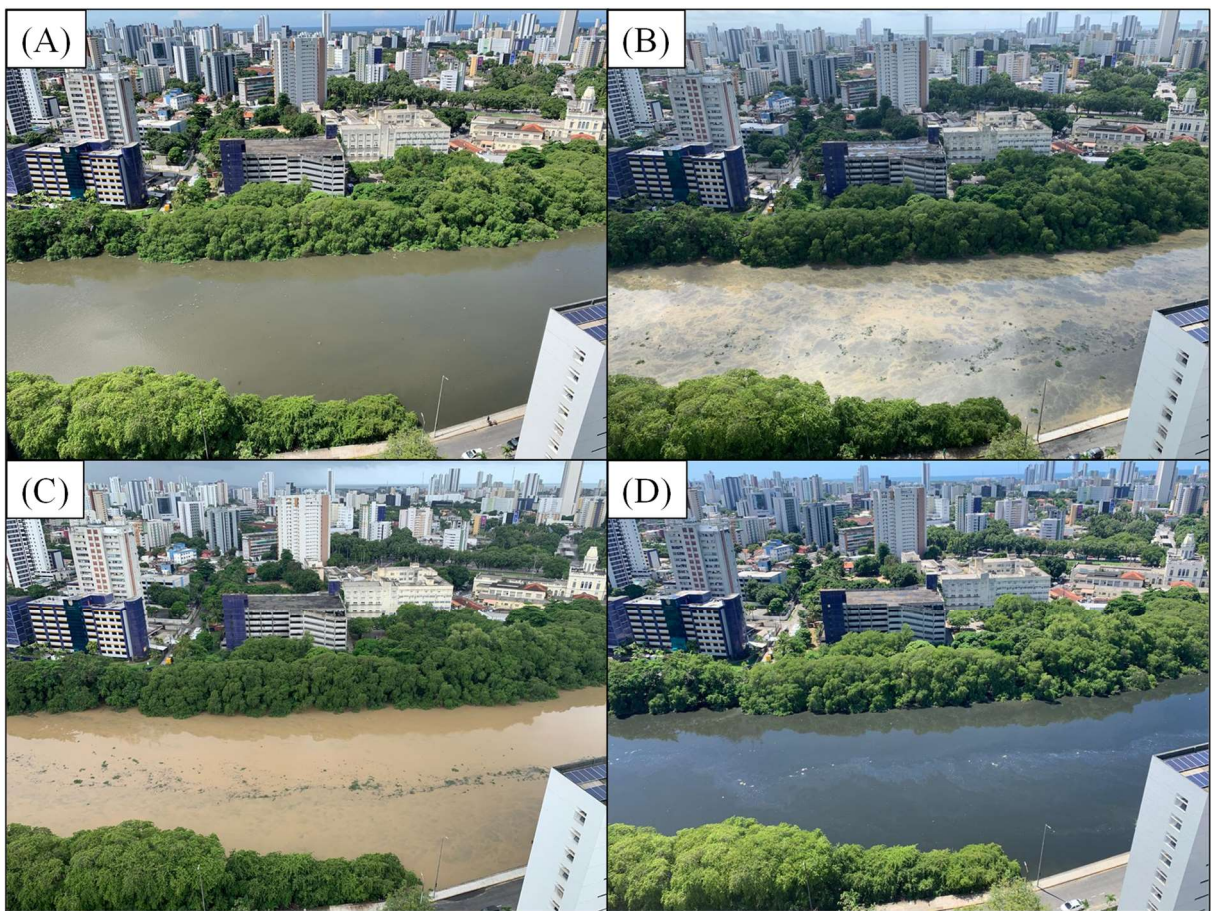


Figura 2. Registro semanal da dinâmica das águas do rio Capibaribe - Recife, parcialmente limpo (A); com elevado grau de turbidez (B e C); parcialmente limpo (D).

Na Figura 2, tanto a dinâmica como a turbidez das águas do rio Capibaribe é extremamente sensível as mudanças em sua composição hidrológica. Isso se dá pelo fato de o rio cortar a mesorregião Metropolitana de Recife, no qual, está extremamente vulnerável a poluição antrópica, assim como a degradação proveniente do recebimento de partículas trazidas das chuvas.

3.1. Caracterização pluviométrica

Com base nos 5 pontos aleatórios georreferenciados da plataforma Climate Engine (Figura 1), para a região de estudo em relação a precipitação pluvial, provenientes do produto CHIRPS são apresentados na Figura 3. Verificou-se que o período de 01/01/2019 a 31/01/2021, todos os dias ocorreu precipitação, onde o valor mínimo observado para um dia foi de 0,98 mm. dia⁻¹ e o máximo de 125,29 mm. dia⁻¹. Vale destacar que o produto CHIRPS já foi devidamente validado para NEB com resultados satisfatórios (Paredes-Trejo et al., 2017). Dessa forma os valores de turbidez nas águas dos rios Capibaribe e Tejipló tiveram certa influência das chuvas na região.

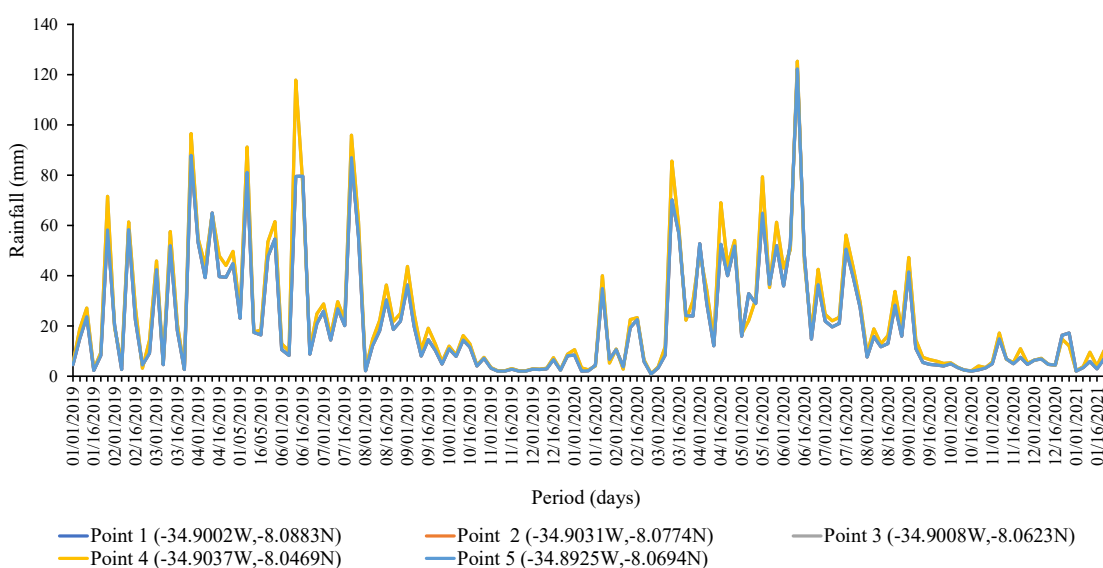


Figura 3. Dados de precipitação do produto CHIRPS (mm) em cinco pontos aleatórios georreferenciados na região do rio Capibaribe e Tejipló - Recife.

Corroborando com os resultados obtidos neste estudo, Solano-Rivera et al. (2019), exploraram os impactos de chuvas extremas no fluxo e na dinâmica da turbidez em uma bacia de drenagem vulcânica íngreme, intocada e tropical na Costa Rica, América Central. Destaca-se ainda, que não só as chuvas, mas outros fatores podem vir a influenciar a turbidez das águas quando a região por sua vez, é referente ao setor urbano, sendo a principal via de poluição dos afluentes, a atividade antrópica em suas diferentes vias de ação no setor urbano.

Nesse contexto, Zhou et al. (2021) estudaram a dinâmica de turbidez da água via técnicas de SR e seus fatores potenciais de direção em Wuhan, região metropolitana da província Chinesa. Os autores apontam que fatores climáticos, tais como as chuvas, têm influência na turbidez das águas fluviais, assim como as atividades antropogênicas, impactando exponencialmente na turbidez das águas.

As datas de precipitação próximas às datas imageadas 01/13/2019, 03/19/2019, 04/12/2020, 05/02/2020, 05/27/2020, 06/21/2020, 08/25/2020 e 01/17/2021, ao qual, as datas de registro de precipitação próximas foram 01/11/2019, 03/16/2019, 04/11/2020, 05/01/2020, 05/26/2020, 06/21/2020, 08/21/2020 e 01/16/2021, com precipitação acumulada diária de 25,11, 19,24, 13,06, 16,24, 55,76, 15,84, 30,51 e 3,44 mm. dia⁻¹. Com exceção da data de 01/16/2021 (3,44 mm. dia⁻¹), as demais apresentaram registro de chuva significativo, no qual, as demais datas tiveram influência na dinâmica da turbidez das águas do rio Capibaribe e Tejipió. Vale destacar que a região de estudo é próxima do ambiente costeiro e, portanto, é influenciada pela convecção local, circulação de brisas marítimas/terrestres e Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL) comuns no Leste do NEB (Lyra et al., 2014), e também por efeitos de marés, que invertem seus fluxos.

3.2. Dinâmica espaço temporal da turbidez nas águas

A estatística descritiva dos valores de turbidez registrados nas águas dos rios Capibaribe e Tejipió estão presentes na Tabela 2. Os valores obtidos da média variaram entre 20,85 mg. L⁻¹ até 112,99 mg. L⁻¹. Contudo, os valores elevados das médias estão associados aos pixels relacionados a presença de cobertura e sombra de nuvens e, também de pontes de concreto e asfalto presentes em Recife, principalmente na região do rio Capibaribe e Tejipió, que consiste na área de estudo e por ambos os rios que cortam o Recife (IBGE, 2021). Diante disso, a presença de pontes de concreto e cobertura de nuvens contribuem para aumentar o valor da refletância da banda do vermelho. Por outro lado, a alta incidência de nuvens na cidade de Recife é comum, devido a cidade se localizar no litoral NEB, e os ventos alísios favorecem a formação de nuvens na região (Lyra et al., 2014).

Tabela 2. Estatística descritiva dos valores de turbidez (mg. L⁻¹) registrados nas águas dos rios Capibaribe e Tejipió.

Datas	¹m	²Med	³Min	⁴Max	⁵CV	⁶DP
01/13/2019	37,78	25,30	15,41	249,66	99,96	37,77
03/19/2019	112,99	64,00	18,17	377,71	88,07	99,51
04/12/2020	28,03	21,53	13,55	148,70	65,95	18,49
05/02/2020	24,43	22,32	14,41	162,95	41,27	10,08
05/27/2020	71,55	40,40	16,63	347,54	84,89	60,74
06/21/2020	26,31	24,44	16,84	64,47	24,39	6,42
08/25/2020	35,92	18,56	15,23	369,86	168,33	60,46

Datas	¹m	²Med	³Min	⁴Max	⁵CV	⁶DP
01/17/2021	20,85	16,20	6,20	132,02	78,17	16,30

¹m: média; ²Med: mediana; ³Min: mínimo; ⁴Max: máximo; ⁵CV: coeficiente de variação (%); ⁶DP: desvio padrão.

Em relação à oscilação dos valores mínimos e máximos obtidos, o valor mínimo observado foi 6,20 mg. L⁻¹ no dia 01/17/2021, 1 ano após o início da pandemia do COVID-19, data referente ao período de eventos pré-carnavalescos, eventos esses, comuns nessa época do ano e que estavam suspensos (Tabelas 1 e 2). Em comparação com o mesmo período no ano de 2019 (um ano antes da pandemia da COVID-19), foi observado valor mínimo de 15,41 mg. L⁻¹ no dia 01/13/2019, sendo assim, justifica-se valores menores de turbidez como consequência de isolamento social e suspensão de eventos para conter a propagação do COVID-19 no Brasil (Aman et al., 2020).

O valor máximo encontrado foi 377,71 mg. L⁻¹ no dia 03/19/2019, esse valor elevado é justificado pela presença de partículas orgânicas vivas, inorgânicas e detritos orgânicos em suspensão trazidas para os rios por eventos de precipitação pluvial em dias anteriores, que modifica a cor e o brilho da água. Corroborando com esse estudo, Novo et al. (2007) afirmam que a cor e o brilho da água estão relacionados à concentração de componentes opticamente ativos na água. Os autores ainda destacam que as partículas provocam alterações na cor da água em função de sua concentração e natureza.

Assim como registrado a alta incidência de nuvens na área, e que carregam também compostos de poluentes provenientes da industrialização urbana, tendem a descarregar sobre as águas e elevam turbidez da água dos rios de estudo. Lebedev et al. (2018) estudaram os compostos semivoláteis em partículas de água de nuvem através da cromatografia gasosa bidimensional abrangente (GC × GC) no topo da montanha Puy de Dôme, França, afirmam que existe alta concentração de partículas de poluentes dissolvidas nas partículas de água das nuvens.

O CV (%) em geral foi alto, com exceção dos dias 06/21/2020 e 05/02/2020, que apresentaram valores médios de 24,39 e 41,27%, respectivamente, segundo classificação de Warrick e Nielsen (1980). Um dos fatores de influência na medida do CV% é a dinâmica da turbidez/poluição das águas dos rios, visto que esse aspecto é alterado em conformidade a agentes incontroláveis, como ocorrência de precipitação, eventos festivos, pandemias, decretos governamentais. Corroborando com os resultados obtidos, Kim e Parnichkun (2017) estudaram a turbidez da água e observaram CV% alto em decorrência da dinâmica das águas na cidade de Changwon, na Coreia do Sul, especificamente na ETA Bansong, alterada principalmente pela atividade antrópica e fatores naturais como precipitação.

O menor valor de CV% foi de 24,39% (06/21/2020), visto que o menor valor máximo também foi captado neste dia, isso resultou em uma menor dispersão dos dados. Destaca-se ainda, menor ocorrência de nuvens nesta data, dessa forma, se atesta que valores excessivamente altos de turbidez, para todas as imagens, foram efetivamente interferidos pela ocorrência de precipitação pluvial.

A partir do histograma da Figura 4 é possível identificar as maiores frequências de pixels referentes aos valores de turbidez dos corpos hídricos, contudo, em algumas datas existem frequências significantes referentes à ocorrência de precipitação pluvial, conforme a Figura 4B e correlacionada com os dados da Tabela 2 no dia 03/19/2019, que obteve o maior valor máximo. Nas Figuras 4C e 4D verifica-se altas frequências para valores baixos dos pixels de turbidez, o que é justificado pela redução na atividade antrópica como consequência da pandemia do COVID-19. Contudo, devido à flexibilização das medidas governamentais de isolamento, foi observado na Figura 4E e 4F um aumento na frequência dos valores de turbidez referentes aos corpos hídricos.

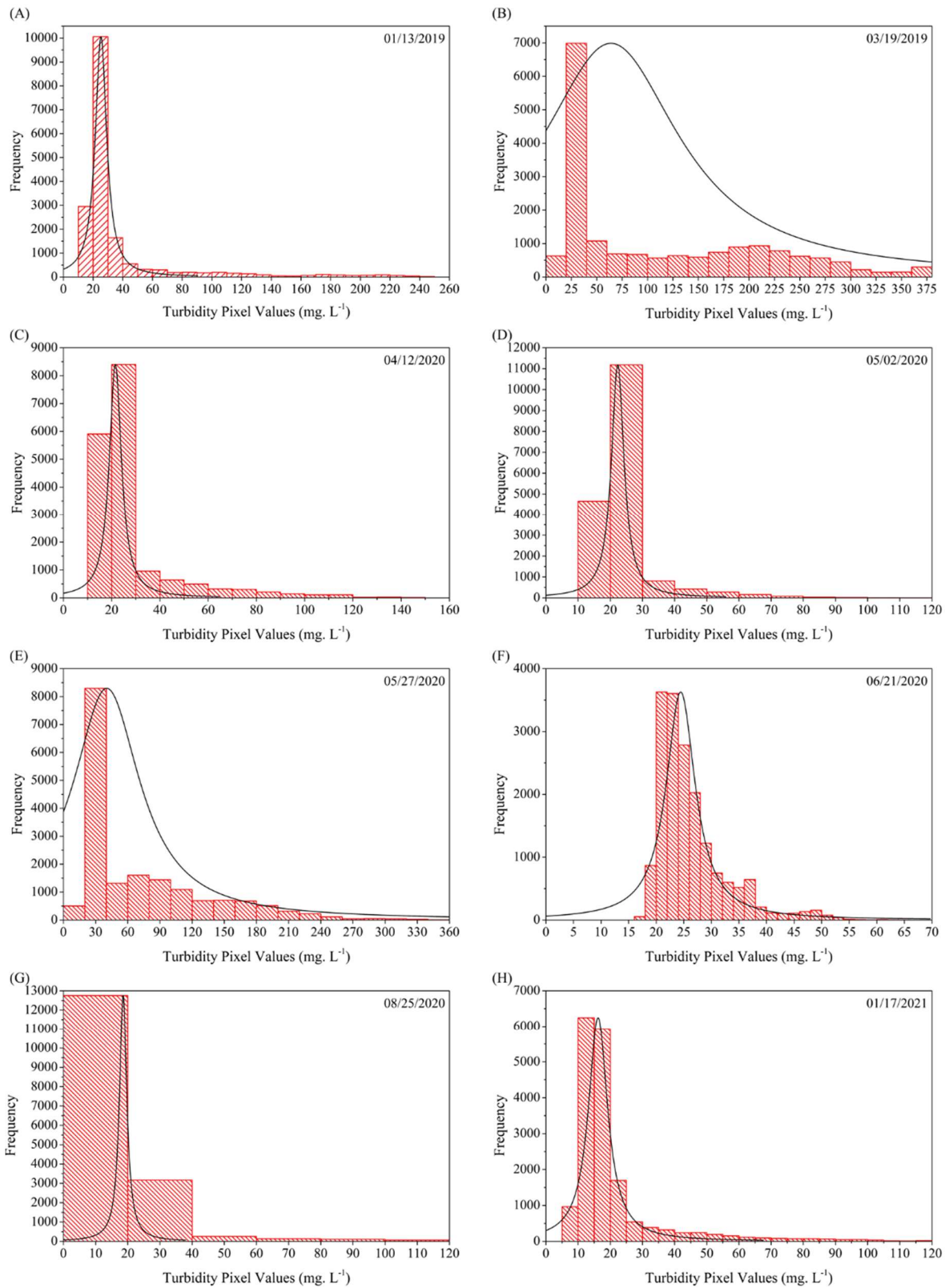


Figura 4. Histograma de frequência dos pixels de turbidez (mg. L^{-1}) extraídos das imagens MSI do Sentinel-2 nas respectivas datas para os rios Capibaribe e Tejipió e todo curso estudado.

Os valores de turbidez nos corpos hídricos variaram entre 6 mg. L⁻¹ até 40 mg. L⁻¹ com base no histograma apresentado na Figura 4. Resultados semelhantes dos valores de turbidez da água foram obtidos por Aman et al. (2020) que estudaram os impactos ambientais da pandemia da COVID-19 no rio Sabarmati, Região Metropolitana Ahmedabad, Índia, no qual observaram uma variação na turbidez das águas de 0 a 40 mg. L⁻¹. Vale destacar que as restrições de lockdown impostas pelo Governo indiano impactou significativamente na melhoria da qualidade das águas do rio Sabarmati.

Nota-se na Figura 5 a distribuição da turbidez (mg. L⁻¹) ao longo da região de estudo, observa-se que a imagem de 03/19/2019 foi influenciada pelo índice pluviométrico de 25,11 mm, que ocorreu no dia 03/16/2019, e a imagem de 05/27/2020 similarmente influenciada pela precipitação de 55,76 mm, que ocorreu no dia 05/26/2020.

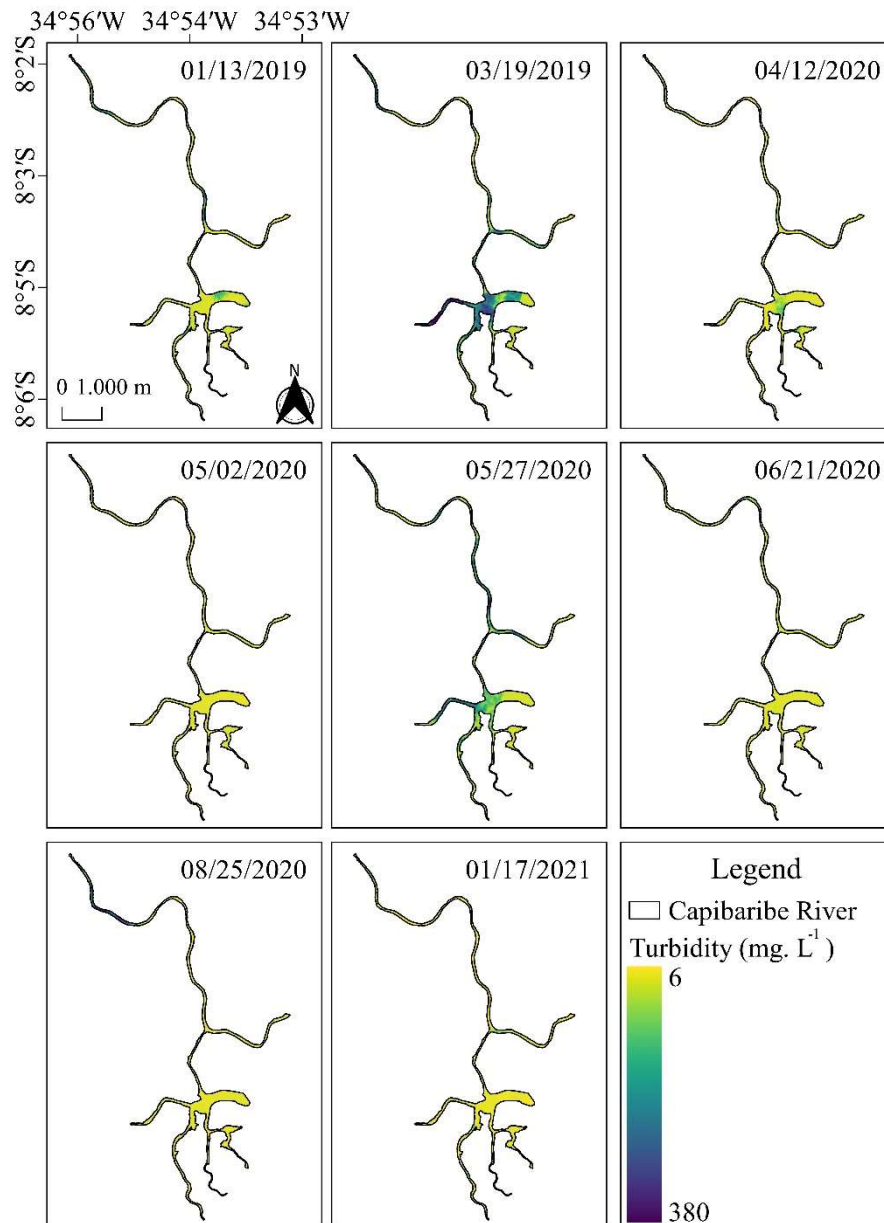


Figura 5. Espacialização da turbidez (mg. L^{-1}) das águas dos rios Capibaribe e Tejipió - Recife com base no processamento das imagens do Sentinel-2 no período antes, dentre e após o lockdown.

Inferre-se por meio da análise dos dados obtidos nas imagens coletadas no ano de 2019, que esse período, especificamente, apresentou dificuldade a seleção de imagens, como consequência à alta incidência de nuvens para esse ano, prejudicando a aquisição e interpretação dos dados.

3.3. Análise cluster

Com base na análise cluster (CA) foi determinado os grupos homogêneos com períodos semelhantes, representados na Figura 6. A CA identificou a formação de 3 grupos (Cluster 1, Cluster 2 e Cluster 3, respectivamente), e a formação de 2 pares não agrupados (NC's). Os NC's, apresentaram uma distância euclidiana próxima a 1, por apresentarem as menores correlações com os grupos de suas proximidades. Dentre todos os grupos, os NC's apresentaram as menores diferenças entre médias, o que caracteriza suas diferenças com os grupos gerados (Tabela 2).

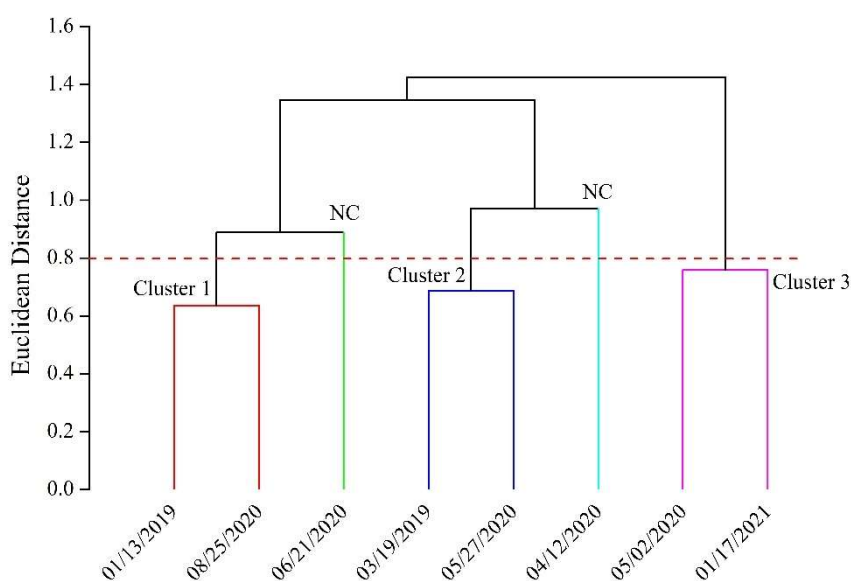


Figura 6. Análise cluster (AC) para as datas das imagens do Sentinel-2.

O Cluster 1 formado é referente as datas de 01/13/2019 e 08/25/2020. A semelhança deste grupo está nos valores mínimos observados na Tabela 2, sendo os de menor diferença entre todas as datas (Tabela 2 e Figura 6). O Cluster 2 trata-se das datas 03/19/2019 e 05/27/2020, que tiveram os CV% próximos (Tabela 2 e Figura 6). No Cluster 3, trata-se das datas 05/02/2020 e 01/17/2021, os valores de média, mediana, mínimo, máximo, CV% e desvio padrão foram semelhantes entre essas duas datas.

Foi observado ainda, que os grupos formados apresentaram similaridade quanto a precipitação pluvial ocorrida, no qual o Cluster 1 composto por 01/13/2019 e 08/25/2020, ocorreu precipitações próximas as datas de 25,11 e 30,51 mm (diferença de 5,40 mm), respectivamente (Figura 3 e Figura 6). O Cluster 2 composto pelas datas 03/19/2019 e 05/27/2020, ocorreu precipitações pluviais próximas as datas de 19,24 e 55,76 mm (diferença

de 36,52 mm), respectivamente (Figura 3 e Figura 6). O Cluster 3 composto pelas datas 05/02/2020 e 01/17/2021, ocorreu precipitações próximas as datas de 16,24 e 3,44 mm (diferença de 12,80 mm), respectivamente (Figura 3 e Figura 6). O Cluster 1 por ser o grupo de maior homogeneidade, foi o de menor diferença quando a precipitação ocorreu, o que justifica apresentar padrões semelhantes de turbidez das águas (Figura 5, Figura 6 e Tabela 2).

4. CONCLUSÕES

Os impactos gerados pela pandemia do COVID-19 através do lockdown na dinâmica da turbidez das águas dos rios Capibaribe e Tejipiú mostra, em parte, reduções significativas na turbidez das águas. A redução da atividade antrópica gerada pelo lockdown, possibilitou melhorias na qualidade das águas na área de estudo e ainda a eficiência das imagens do MSI/Sentinel-2, apesar da presença de nuvens e ocorrência de chuva.

O processamento digital das imagens em nuvem na Google Earth Engine é uma ferramenta promissora e maximizadora de resultados em curto prazo e assim, possibilita a avaliação da qualidade das águas fluviais.

5. SOFTWARE AVAILABILITY

Name of the software: TbAgua

Phone: +55 64 992247907

E-mail: marcolino_114@hotmail.com

First available: 2021

Minimum requirements: Any device with a web browsing capability

Platform: Any but with a web browsing capability

Availability: Through GEE platform at: <https://dicroud.users.earthengine.app/view/tbagua>

6. REFERÊNCIAS

- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., de Moraes Gonçalves, J. L., & Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, *22*(6), 711-728. doi: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Aman, M. A., Salman, M. S., & Yunus, A. P. (2020). COVID-19 and its impact on environment: Improved pollution levels during the lockdown period—A case from Ahmedabad, India. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, *20*, 100382. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100382>
- Barouki, R., Kogevinas, M., Audouze, K., Belesova, K., Bergman, A., Birnbaum, L., ... & HERA-COVID-19 working group. (2021). The COVID-19 pandemic and global environmental change: Emerging research needs. *Environment International*, *146*, 106272. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106272>
- Beck, H. E., Zimmermann, N. E., McVicar, T. R., Vergopolan, N., Berg, A., & Wood, E. F. (2018). Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific Data*, *5*, 180214. doi: <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214>
- Bianchi, E., Dalzochio, T., Simões, L. A. R., Rodrigues, G. Z. P., da Silva, C. E. M., Gehlen, G., ... & da Silva, L. B. (2019). Water quality monitoring of the Sinos River Basin, Southern Brazil, using physicochemical and microbiological analysis and biomarkers in laboratory-exposed fish. *Ecohydrology & Hydrobiology*, *19*(3), 328-338. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2019.05.002>
- Brasil. (2020). *Ministério da Saúde: Painel Coronavírus- COVID19*. [online]. Available at: < <https://covid.saude.gov.br/>>. [Accessed May 11, 2021].
- Cheval, S., Mihai Adamescu, C., Georgiadis, T., Herrnegger, M., Piticar, A., & Legates, D. R. (2020). Observed and Potential Impacts of the COVID-19 Pandemic on the Environment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *17*(11), 4140. doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph17114140>
- Farias, D. P., & Araújo, F. F. (2020). Will COVID-19 affect food supply in distribution centers of Brazilian regions affected by the pandemic?. *Trends in Food Science & Technology*, *103*, 361-366. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.05.023>
- Ferrante, L., & Fearnside, P. M. (2020). Protect Indigenous peoples from COVID-19. *Science*, *368*(6488), 251-251. doi: <https://doi.org/10.1126/science.abc0073>
- Ferrante, L., Steinmetz, W. A., Almeida, A. C. L., Leão, J., Vassão, R. C., Tupinambás, U., ... & Duczmal, L. H. (2020). Brazil's policies condemn Amazonia to a second wave of COVID-19. *Nature Medicine*, *26*(9), 1315-1315. doi: <https://doi.org/10.1038/s41591-020-1026-x>

- Freyberg, J. V., Studer, B., & Kirchner, J. W. (2017). A lab in the field: high-frequency analysis of water quality and stable isotopes in stream water and precipitation. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(3), 1721-1739. doi: <https://doi.org/10.5194/hess-21-1721-2017>
- IBGE. (2020). *CONHEÇA CIDADES E ESTADOS DO BRASIL*. [online]. Available at: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/recife/panorama>. [Accessed March 23, 2021].
- IBGE. (2021). *Rio Capibaribe: [vista panorâmica da cidade]: Recife, PE*. [online]. Available at: <https://biblioteca.ibge.gov.br/biblioteca-catalogo.html?id=440825&view=detalhes#:~:text=Dividido%20em%20Alto%2C%20M%C3%A9dio%20e,aproximadamente%205%20880%20quil%C3%B4metros%20quadrados>. [Accessed May 11, 2021].
- Kim, C. M., & Parnichkun, M. (2017). Prediction of settled water turbidity and optimal coagulant dosage in drinking water treatment plant using a hybrid model of k-means clustering and adaptive neuro-fuzzy inference system. *Applied Water Science*, 7(7), 3885-3902. doi: <https://doi.org/10.1007/s13201-017-0541-5>
- Lal, P., Kumar, A., Kumar, S., Kumari, S., Saikia, P., Dayanandan, A., ... & Khan, M. L. (2020). The dark cloud with a silver lining: Assessing the impact of the SARS COVID-19 pandemic on the global environment. *Science of the Total Environment*, 732, 139297. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139297>
- Lancet, T. (2020). COVID-19 in Brazil: "So what?". *Lancet (London, England)*, 395(10235), doi: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)31095-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)31095-3)
- Lebedev, A. T., Polyakova, O. V., Mazur, D. M., Artaev, V. B., Canet, I., Lallement, A., ... & Delort, A. M. (2018). Detection of semi-volatile compounds in cloud waters by GC× GC-TOF-MS. Evidence of phenols and phthalates as priority pollutants. *Environmental Pollution*, 241, 616-625. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.05.089>
- Lyra, G. B., Oliveira-Júnior, J. F., & Zeri, M. (2014). Cluster analysis applied to the spatial and temporal variability of monthly rainfall in Alagoas state, Northeast of Brazil. *International Journal of Climatology*, 34(13), 3546-3558. doi: <https://doi.org/10.1002/joc.3926>
- Mani, K. S. (2020). The Lockdown Cleaned the Ganga More than 'Namami Gange' Ever Did. [Online]. Available at: <https://science.thewire.in/environment/ganga-riverlockdown-cleaner-namami-gange-sewage-treatment-ecological-flow/>. (Accessed April 5, 2020).
- Moraes, R. F. D. (2020). Covid-19 e medidas legais de distanciamento social: isolamento social, descentralização e análise do período de 11 a 24 e maio de 2020 (Boletim 4).

- Nechad, B., Ruddick, K. G., & Park, Y. (2010). Calibration and validation of a generic multisensor algorithm for mapping of total suspended matter in turbid waters. *Remote Sensing of Environment*, *114*(4), 854-866. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.11.022>
- Nigam, R., Pandya, K., Luis, A. J., Sengupta, R., & Kotha, M. (2021). Positive effects of COVID-19 lockdown on air quality of industrial cities (Ankleshwar and Vapi) of Western India. *Scientific Reports*, *11*(1), 1-12. doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-83393-9>
- Nižetić, S. (2020). Impact of coronavirus (COVID-19) pandemic on air transport mobility, energy, and environment: A case study. *International Journal of Energy Research*, *44*(13), 10953-10961. doi: <https://doi.org/10.1002/er.5706>
- Novo, E. M. L. de M.; Barbosa, C.; Freitas, R. M. (2007). Sistemas aquáticos continentais. In: Rudorff, B. F. T.; Shimabukuro, Y. E.; Ceballos, J. C. (Eds.). O sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil São José dos Campos: Ed. Bookimage, p.206-275.
- Paredes-Trejo, F. J., Barbosa, H. A., & Kumar, T. L. (2017). Validating CHIRPS-based satellite precipitation estimates in Northeast Brazil. *Journal of Arid Environments*, *139*, 26-40. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2016.12.009>
- R Core Team. (2019). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing.
- Rostom, N. G., Shalaby, A. A., Issa, Y. M., & Afifi, A. A. (2017). Evaluation of Mariut Lake water quality using Hyperspectral Remote Sensing and laboratory works. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, *20*, S39-S48. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2016.11.002>
- Saha, A., Salim, S. M., Sudheesan, D., Suresh, V. R., Nag, S. K., Panikkar, P., & Das, B. K. (2020). Impacts of a massive flood event on the physico-chemistry and water quality of river Pampa in Western Ghats of India. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 1-19. doi: <https://doi.org/10.1080/03067319.2020.1843026>
- Santos, A., Lopes, P. M. O., Silva, M. V., Jardim, A. M. D. R. F., Albuquerque Moura, G. B., Fernandes, G. S. T., ... & Oliveira-Júnior, J. F. (2020). Causes and consequences of seasonal changes in the water flow of the São Francisco river in the semiarid of Brazil. *Environmental and Sustainability Indicators*, *8*, 100084. doi: <https://doi.org/10.1016/j.indic.2020.100084>
- Severo, E. A., De Guimarães, J. C. F., & Dellarmelin, M. L. (2021). Impact of the COVID-19 pandemic on environmental awareness, sustainable consumption and social responsibility: Evidence from generations in Brazil and Portugal. *Journal of Cleaner Production*, *286*, 124947. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124947>

- Silva, J. L. B., Albuquerque Moura, G. B., Silva, M. V., Lopes, P. M. O., Souza Guedes, R. V., e Silva, Ê. F. D. F., ... & Moraes Rodrigues, J. A. (2020b). Changes in the water resources, soil use and spatial dynamics of Caatinga vegetation cover over semiarid region of the Brazilian Northeast. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, *20*, 100372. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100372>
- Silva, M. V., Pandorfi, H., Almeida, G. L. P., Lima, R. P., Santos, A., Jardim, A. M. D. R. F., ... & da Silva, D. C. (2021). Spatio-temporal monitoring of soil and plant indicators under forage cactus cultivation by geoprocessing in Brazilian semi-arid region. *Journal of South American Earth Sciences*, *107*, 103155. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103155>
- Silva, M. V., Pandorfi, H., Lopes, P. M. O., Silva, J. L. B., Almeida, G. L. P., Oliveira Silva, D. A., ... & Jardim, A. M. D. R. F. (2020a). Pilot monitoring of caatinga spatial-temporal dynamics through the action of agriculture and livestock in the brazilian semiarid. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, *19*, 100353. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100353>
- Solano-Rivera, V., Geris, J., Granados-Bolaños, S., Brenes-Cambronero, L., Artavia-Rodríguez, G., Sánchez-Murillo, R., & Birkel, C. (2019). Exploring extreme rainfall impacts on flow and turbidity dynamics in a steep, pristine and tropical volcanic catchment. *Catena*, *182*, 104118. doi: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104118>
- Urban, R. C., & Nakada, L. Y. K. (2021). COVID-19 pandemic: Solid waste and environmental impacts in Brazil. *Science of the Total Environment*, *755*, 142471. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142471>
- USGS/NASA (United States Geological Survey). 2021. *Landsat Missions Timeline*. [online]. Available at: < http://landsat.usgs.gov/about_mission_history.php>. [Accessed March 05, 2021].
- Ward, J. H. (1963). Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal of the American Statistical Association*, *58*(301), 236-244. doi: <https://doi.org/10.1080/01621459.1963.10500845>
- Warrick, A. W., & Nielsen, D. R. (1980). Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). *Applications of Soil Physics*. New York: Academic. 2, 319-344.
- Zhou, Q., Wang, J., Tian, L., Feng, L., Li, J., & Xing, Q. (2021). Remotely sensed water turbidity dynamics and its potential driving factors in Wuhan, an urbanizing city of China. *Journal of Hydrology*, *593*, 125893. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125893>