



# Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



## **Vulnerabilidade ambiental e socioeconômica aos eventos extremos de precipitação relacionados a seca no semiárido nordestino – Estudo de caso da Bacia Hidrográfica de Terra Nova – Pernambuco, Brasil.**

Naiane Gomes da Silva<sup>1</sup>, Freds Fernando Alves de Almeida<sup>2</sup>, Romero Luiz Mendonça Sales Filho<sup>3</sup>,  
Werônica Meira de Souza<sup>4</sup>, Josiclêda Domiciano Galvêncio<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Mestre em Ciências Ambientais pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal do Agreste de Pernambuco - UFAPE, CEP: 55292-270, Garanhuns-PE; <sup>2</sup>Pesquisador/PDCTR – FACEPE/CNPq, Universidade Federal do Agreste de Pernambuco - UFAPE, CEP: 55292-270, Garanhuns-PE, [fredsfernando@hotmail.com](mailto:fredsfernando@hotmail.com) (Autor correspondente); <sup>3</sup>Professor Doutor, Universidade Federal do Agreste de Pernambuco - UFAPE, CEP: 55292-270, Garanhuns-PE; <sup>4</sup>Professora Doutora, Universidade Federal do Agreste de Pernambuco - UFAPE, CEP: 55292-270, Garanhuns-PE; <sup>5</sup>Professora doutora, Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, CEP: 50670-90, Recife-PE.

Artigo recebido em 05/02/2023 e aceito em 20/04/2023

### **RESUMO**

O semiárido nordestino é condicionado pela disponibilidade hídrica limitada, em função da alta variabilidade climática, com alta frequência de anos secos, ocasionando impactos na região. Este trabalho teve como objetivo analisar os riscos socioeconômicos e ambientais dos desastres decorrentes dos eventos extremos relacionados às secas na Bacia Hidrográfica do rio Terra Nova (BHTN), Sertão Pernambucano. A metodologia se baseou em três etapas: na distribuição temporal mensal e anual das chuvas de 10 estações pluviométricas inseridas na área da bacia de 1963 a 2021; na avaliação da dinâmica do uso e ocupação da terra e os impactos associados, entre os anos de 2013 e 2021, através do Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI); e no mapeamento do índice de risco e vulnerabilidade aos desastres por meio da equação de Risco Meira. Os resultados mostraram que, na precipitação anual de 1963 a 2021, existe um padrão de precipitação anterior e posterior a década de 90. Na climatologia mensal verificou-se que os meses de janeiro, fevereiro, março e abril são os mais chuvosos. Quanto ao uso e ocupação do solo, observou-se que áreas com solo mais exposto em quase todos os anos de análise concentram-se em partes da extremidade norte e sul da bacia, convergindo com os resultados de alta vulnerabilidade, bem como, com os maiores casos de desastres ligados as secas e estiagens. Portanto, concluiu-se que, há uma maior frequência de desastres associados a seca no semiárido, pela falta de planejamento aliado as condições sociais e econômicas da população mais pobre.

Palavras-chave: Risco, Precipitação, Semiárido, Bacia Hidrográfica.

## **Environmental and socioeconomic vulnerability to extreme events related to drought in the northeastern semiarid region – Case study of the Terra Nova river basin – Pernambuco, Brazil.**

### **ABSTRACT**

The semiarid Northeast is conditioned by limited water availability because the high climatic variability, with a high frequency of dry years, causing impacts in the region. This study aimed to analyze the socioeconomic and environmental risks of disasters resulting from extreme events related to droughts in the Terra Nova River Basin, Sertão region of the state of Pernambuco. The methodology was based on three stages: the monthly and annual temporal distribution of rainfall from 10 rainfall stations in the basin area from 1963 to 2021; in the evaluation the dynamics of land use and occupation, and the associated impacts, between the years 2013 and 2021, through the Normalized Difference Vegetation Index; and in the mapping of the risk index and vulnerability to disasters through the Meira Risk equation. The results showed that in the annual precipitation from 1963 to 2021, there is a rainfall pattern before and after the 90s. In the monthly climatology it was found that January, February, March, and April are the wettest. Regarding land use and occupation, it was observed that areas with more exposed soil in almost all the years of analysis are concentrated in parts of the northern and southern extremity of the basin, converging with the results of high vulnerability, as well as with the largest cases of disasters linked to droughts and droughts. Therefore, it was concluded that there is a higher frequency of disasters associated with drought in the semiarid region, because the lack of planning combined with the social and economic conditions of the poor population.

Keywords: Risk, Rainfall, Semiarid, Watershed.

## Introdução

Os eventos extremos vêm aumentando nos últimos anos no mundo, não só apenas pelos fatores físicos naturais, mas também devido aos fatores antrópicos como, a expansão das formas de uso da terra urbana e rural sem a utilização de qualquer critério técnico adequado, alterando assim a dinâmica do espaço e criando/aumentando as áreas de risco.

No Brasil alguns fenômenos ocorrem com mais frequência do que outros, segundo o Anuário brasileiro de desastres naturais (2012), como os movimentos de massa, alagamentos, inundações, enxurradas e secas intensas. Todos eles são classificados de acordo com sua intensidade, em desastres, segundo o Ministério da Integração Nacional, Secretaria Nacional de Defesa Civil (SEDEC) e o Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres (CENAD).

A seca severa, é o evento extremo predominante na área de estudo, a Bacia Hidrográfica de Terra Nova (BHTN), devido a sua localização geográfica, essa região possui características físicas intrínsecas que a tornam predisponentes a esses eventos além das ações antrópicas que tem intensificado essas ocorrências, e consequentemente aos socioeconômicos, políticos e ambientais.

Com um sistema hídrico, frágil o semiárido convive com altos registros de temperaturas (23°C - 30 °C), e as projeções em escala global, segundo IPCC (2007) a temperatura do planeta aumentará cerca de 1°C até 2100, com projeções de até 4,5°C no pior cenário, uma das consequências esperadas do aquecimento global é que o aumento da temperatura superficial levaria a um aumento da evaporação (Sun *et al.*, 2013; Huang *et al.*, 2021).

A necessidade de uma melhor compreensão das consequências das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos tem sido o maior desafio no planejamento e gerenciamento da água, especialmente em regiões áridas e semiáridas, dependentes da variabilidade do clima, principalmente a distribuição de chuvas (ZhaO *et al.*, 2013).

É de fundamental importância conhecer e compreender como esses fenômenos se processam, quais suas causas e consequências, para que assim seja possível não apenas diagnosticar, mas também desenvolver ações mitigadoras, participativas e adequadas para todos os que integram as áreas de ocorrência desses processos.

A combinação de algumas variáveis como a suscetibilidade (análise dos fatores físicos), mais

as características e circunstâncias dos elementos expostos, ou seja, a vulnerabilidade (fatores sociais, econômicos, culturais, políticos e educacionais) e a análise das diversas percepções envolvidas a respeito do risco a tais eventos, possibilita conhecer melhor a realidade enfrentada por essas pessoas.

Diante da crescente capacidade de observação tecnológica ambiental e seu registro em tempo real, com utilização das técnicas de geoprocessamento, é possível identificar eventos meteorológicos que possam desencadear danos nas várias áreas da sociedade, como: economia, cultura e política (Duarte, 2015). O mapeamento permitirá avaliar as potencialidades do meio ambiente de forma integrada, compatibilizando suas características naturais com suas restrições.

Portanto, a pesquisa justifica-se pela necessidade de conhecer a área da Bacia Hidrográfica Terra Nova (BHTN) situada no sertão Pernambucano, que sofre com os eventos extremos de seca, assim como a analisar os riscos socioeconômicos e ambientais aos eventos extremos de precipitação na Bacia Hidrográfica Terra Nova, localizada no estado de Pernambuco. No intuito de contribuir com formas de lidar com os desastres naturais na perspectiva da prevenção, na mitigação, e nas ações pós-desastres, oferecendo subsídios aos gestores municipais e aos formadores de opinião, além de maneiras para que se tenha um planejamento territorial e ambiental mais adequado aos municípios e ao fortalecimento da gestão dos recursos hídricos do estado.

## Material e Métodos

### Caracterização da Área De Estudo

A Unidade de Planejamento Hídrico UP10, que corresponde à bacia do rio Terra Nova, está localizada no Sertão de Pernambuco, entre 7° 40'20" e 8° 36'57" de latitude sul, e 38° 47'04" e 39° 35' 58" de longitude oeste. Limita-se ao norte com o estado do Ceará, ao sul com os grupos de bacias de pequenos rios interiores 4 e 5 - GI4 (UP23) e GI5 (UP24) e o rio São Francisco, a Leste com a bacia do rio Pajeú (UP9) e a oeste com a bacia do rio Brígida (UP11).

A bacia Terra Nova apresenta uma área de 4.887,71 km<sup>2</sup>, que corresponde a 4,97% da área do Estado. A área de drenagem da bacia envolve 12 municípios, dos quais 3 estão totalmente inseridos na bacia, sendo eles: Cedro, Salgueiro e Terra Nova; 2 possuem sede na bacia: Serrita e Verdejante, e 7 estão parcialmente inseridos:

Belém do São Francisco, Cabrobó, Carnaubeira da Penha, Mirandiba, Orocó, São José do Belmonte e Parnamirim (APAC, 2021).

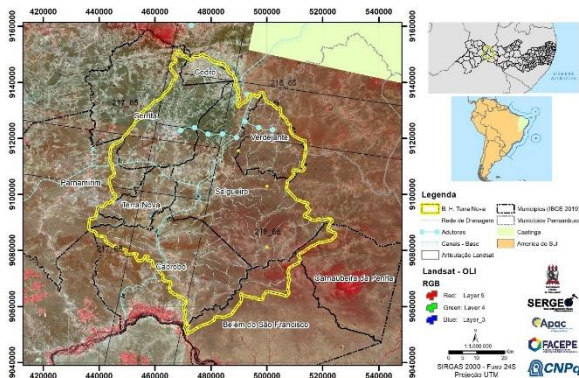


Figura 1 – Localização da Bacia Hidrográfica de Terra Nova, Pernambuco - Brasil.

### Dados de precipitação

Para avaliar a distribuição temporal das chuvas na área da bacia do rio Terra Nova, foi realizado o levantamento dos dados de precipitação pluviométrica mensais no período de 01/01/1963 a 31/12/2021, que foram obtidos por meio das estações monitoradas pela Agência Pernambucana de Água e Clima (APAC), para os 12 municípios inseridos totalmente ou parcialmente na bacia.

Após a seleção dos postos pluviométricos foram construídos gráficos das séries temporais de 1963 a 2021 para avaliar a distribuição das chuvas na bacia.

### Dados de desastres

Os dados de desastres (secas, estiagem, alagamentos, vendaval, enxurradas e chuvas intensas) decorrentes dos extremos climáticos dos 12 municípios que compõem a bacia do rio Terra Nova no período de 2003 a 2016, foram obtidos por meio de Decretos, Portarias (atos administrativos) e Avadan (avaliação de danos), fornecidos pelo Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID) do Ministério da Integração Nacional.

### Distribuição temporal das chuvas

Para a obtenção dos dados de precipitação foram usados 44 postos pluviométricos selecionados com dados entre os anos 1963 e 2021. A série histórica seria de 58 anos, porém devido à ausência de alguns anos ou a insuficiência de dados em alguns anos as séries históricas dos municípios são diferentes - Terra Nova (42 anos), São José do Belmonte (51 anos),

Verdejante (31 anos), Cabrobó (43 anos), Orocó (28 anos), Salgueiro (54 anos), Cedro (47 anos), Carnaubeira da Penha (46 anos), Parnamirim (57 anos), Belém de São Francisco (46 anos), Serrita (56 anos) e Mirandiba (53 anos) adquiridos através do histórico de chuva da Agência Pernambucana de Águas e Clima - APAC.

Foi calculado o total anual das chuvas e realizada a climatologia média mensal e anual de todos os postos pluviométricos da bacia, como também foi a média geral da bacia. Utilizou-se o programa da Microsoft Excel para tabulação e produção dos gráficos para melhor representação e análise. A climatologia de uma determinada região é determinada a partir de uma série de dados maior ou igual a 30 anos. Neste trabalho a série utilizada para a climatologia foi de 1963 a 2021 (58 anos) de 10 localidades na área da bacia, após análise da qualidade dos dados.

### Dinâmica do uso e ocupação da terra

Foram utilizadas imagens do sensor *Operational Land Imager* (OLI) de órbitas e pontos 216-065, 216-066, 217-065 e 217-066 a bordo do satélite *Landsat 8*. Para o presente estudo foram escolhidas imagens do período seco. A escolha deste período deve-se ao fato de as áreas irrigadas se destacarem no bioma caatinga.

As datas foram escolhidas levando em consideração a menor quantidade possível de nuvem além das proximidades de datas entre as órbitas, o que inviabilizou a utilização de dezenas de cenas. Como recorte temporal foi adotado o período compreendido entre os anos de 2013 e 2021 devido ao início das obras da transposição das águas do rio São Francisco.

As imagens foram obtidas gratuitamente em sua segunda coleção e level um (L1TP), incluindo correção radiométrica, geométrica e correção de precisão, por meio de acesso ao sistema do *EarthExplorer* (EARTH EXPLORER, 2021) da *United States Geological Survey*. A série Landsat teve início na década de 60, sendo dedicado exclusivamente a observação de recursos naturais terrestre. Em sua atual versão, Landsat 8, apresenta os sensores OLI (Operational Land Imager) e TIRS (Thermal Infrared Sensor), operando nas faixas do Visível, Infravermelho próximo, médio, Cirrus e Costal, com resolução espacial de 30m e 15m na faixa pancromática. Já as bandas termais apresentam resolução espacial de 100m reamostradas para 30m (NASA, 2021).

Após o download das imagens de satélite, elas foram submetidas ao processo composição colorida (bandas 2 a 7) e posteriormente suas coordenadas foram reprojetadas para o hemisfério sul, tendo em vista, que as cenas disponibilizadas

pelo *EarthExplorer* vêm projetadas para o hemisfério norte. Após a reprojeção, as imagens passaram por processo de classificação supervisionada, onde os valores de números digitais referentes a regiões com nuvem e sombra foram amostrados e posteriormente multiplicados por zero na classificação.

Assim posteriormente com o computo de índice de vegetação estas áreas apresentam um valor único, podendo facilmente ser isolado e retirado das imagens e dos cálculos estatísticos realizados pelo programa de geoprocessamento utilizado. Logo após as cenas foram recortadas para o limite adotado na pesquisa.

Após o pré-processamento é necessário realizar a transformação dos números digitais (ND) em valores de reflectância. A reflectância de cada banda ( $\lambda_i$ ) é definida como a razão entre o fluxo de radiação solar refletido pela superfície e o fluxo de radiação solar global incidente, obtida através da equação 1:

$$\lambda_i = (\text{Add}_{\text{ref},i} + \text{Mult}_{\text{ref},i} \text{ND}_i) \cos Z \cdot dr \quad (1)$$

onde  $\text{Add}_{\text{ref},b}$  e  $\text{Mult}_{\text{ref},b}$  representa o fator aditivo e multiplicativo da reflectância para cada banda disponíveis no arquivo MTL (Grupo Level 1 Radiometric Rescaling). ND corresponde a intensidade do pixel (valor inteiro entre 0 e 255) e  $i$  corresponde às bandas (1, 2, ... e 7) dos satélites Landsat 8. O  $\cos Z$  é cosseno do ângulo zenital solar dada pela Equação 2 e  $dr$  corresponde a correção da excentricidade da órbita terrestre, dado pela Equação 3:

$$\cos Z = \cos \theta_0 (90 - Z) \quad (2)$$

$$dr = 1 - d_{ES}^2 \quad (3)$$

onde  $d_{ES}$  corresponde a distância terra sol (em unidade astronômica) para o dia da imagem, disponível no arquivo MTL.

#### Cálculo do NDVI

O *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) ou Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN), Equação 4, é obtido através da razão entre a diferença das refletividades do infravermelho próximo e do vermelho, e a soma delas:

$$\text{NDVI} = \frac{IV - \rho_{VIV} + V}{IV + \rho_{VIV} + V} \quad (4)$$

onde IV e V correspondem, respectivamente, às bandas 5 e 4 do Landsat 8 - OLI.

O IVDN atua como um indicador sensível da quantidade e da condição da vegetação verde. Seus valores variam de -1 a +1 em que as superfícies vegetadas apresentam variação de valores positivos. Já para a corpos hídricos e nuvens o IVDN são apresentados valores negativos.

Índices de vulnerabilidade e de risco à desastres ocasionados pela seca

Os índices de vulnerabilidade e de risco à desastres decorrentes dos eventos extremos de seca foram determinados a partir da equação de Risco Meira (1 e 2), conforme Souza et al. (2014), que é função dos indicadores socioeconômicos e ambientais e dos desastres associados às variabilidades climáticas:

$$V = DD + RM + PT + H \quad (1)$$

$$R = \frac{P(DD + RM + PT + H)}{IDH} \quad (2)$$

Em que, R: risco a desastre; P: perigo, expresso pelo número de desastres registrados em função das variabilidades climáticas (desastres associados às secas); DD: densidade demográfica, que é obtido a partir da razão entre a população residente total e a área da cidade ( $\text{hab}/\text{km}^2$ ); RM: renda per capita média; PT: população total existente; H: condições de habitabilidade (acesso da população a serviços básicos: banheiro, esgotamento sanitário, abastecimento de água e destino do lixo) nos municípios; IDH: índice de desenvolvimento humano, obtido pela média aritmética de três subíndices, referentes às dimensões Longevidade (IDH-L), Educação (IDH-E) e Renda (IDH-R).

A partir da equação de Risco Meira obteve-se os índices de vulnerabilidade e de risco nos municípios que compõem a bacia do rio Terra Nova, e confeccionados mapas desses índices, assim como da população, renda, DD, IDH, IDH-L, IDH-E e IDH-R. Para elaboração dos mapas serão adotadas quatro classes: baixa, média, alta e muito alta, definidas pelo método do Desvio Quartilício, conforme Ramos e Sanchez (2000).

Os dados das variáveis DD, RM, PT, H e IDH foram obtidos junto ao IBGE para os 12 municípios da bacia, referentes ao censo de 2010.

## Resultados e discussão

### *Análise da distribuição temporal da precipitação na Bacia Hidrográfica Terra Nova*

A variação temporal da precipitação, além de sua alteração habitual relacionadas à sazonalidade, ocorre também em uma escala interanual, onde se observam episódios extremos recorrentes, relacionados a fenômenos de macro

escala, consequências de ciclos de variações na circulação atmosférica global.

Apenas observando-se os totais anuais de precipitação apresentados na figura 2, é possível observar valores extremos, tanto em casos de anos mais chuvosos, quanto de anos mais secos. Levando em conta a média da bacia, sendo assim os anos 1974 e 1985 tiveram um total anual muito acima do esperado, da mesma forma que nos anos 1993 e 2012 tiveram a média abaixo do esperado.

É possível perceber também que existe um padrão de precipitação anterior e posterior a década de 90 pois, sendo que as chuvas a partir desse período tem diminuído ao longo dos anos, tendo algumas oscilações, mas mantendo-se na maioria das vezes abaixo da média da bacia que é de 600mm.

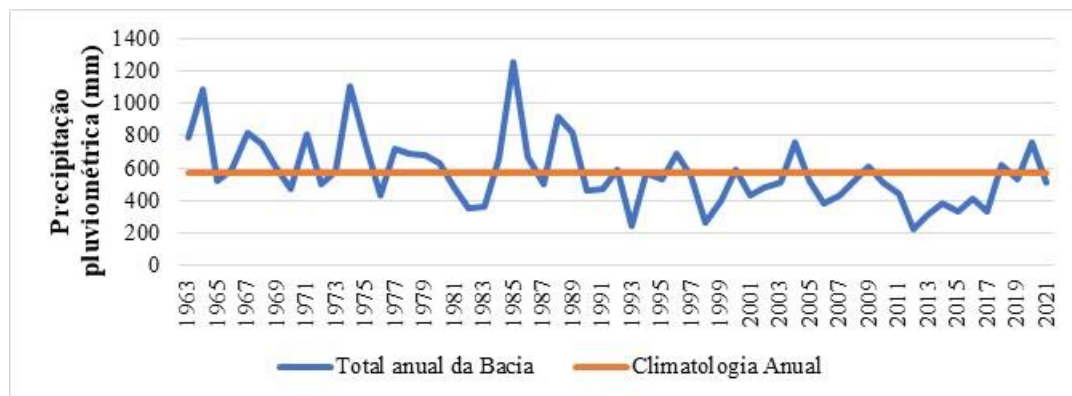


Figura 2 – Distribuição temporal da precipitação pluviométrica total anual e climatologia anual média da bacia hidrográfica Terra Nova.

### *Análise de variabilidade climática na Bacia Hidrográfica de Terra Nova*

A Figura 2 ilustra a variabilidade pluviométrica anual ao longo da série histórica entre os anos 1963 e 2021, na qual as oscilações extremas pluviiais destacam-se no ano de 1993 com a média anual de 427,7 mm, sequenciado do ano de 2012 com a média anual de 595,8 mm, esses são os menores valores abaixo da normal da Bacia.

Embora exista a ausência de dados em alguns municípios, o que poderia comprometer os resultados e análises encontrados, outros trabalhos chegaram a mesma conclusão, utilizando métodos similares ou diferentes, como por exemplo o já mencionado no trabalho, o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais: volume Pernambuco (2013), que ao analisar a frequência anual de desastres causados por estiagem e seca no estado de Pernambuco entre 1991 a 2012, evidencia (gráfico 1) que os anos (1993 e 2012) são os mais afetados

por este tipo de desastre. Outros trabalhos que também apontam um extremo de precipitação em tais anos, bem como os impactos da seca na região semiárida do Nordeste, área de estudo, principalmente no desempenho das atividades agropecuárias são (Santos *et al.*, 2012; Rodrigues e Magalhães, 2015; Marengo *et al.*, 2017; Santana e Santos, 2020; Medeiros; Oliveira; Torres, 2020).

Geralmente a diminuição no volume pluvial está relacionada ao sistema de temperaturas do oceano Oscilação Sul, o El Niño (Marengo *et al.*, 2017). Como de fato ocorreu no ano 1993 na BHRTN.

No entanto, o ano de 1985 apresentou-se como de maior pluviosidade da série com uma média de 1.250,6 mm. Silva *et al.* (2017) apontam que a TSM desempenha uma função relevante na precipitação seja positiva ou negativa, pois interfere nas condições atmosféricas, influenciando no reservatório de água produção de energia, nas atividades agropecuárias etc.

O município de São José do Belmonte que fica a norte da bacia se destaca pelo maior acúmulo pluviométrico anual com uma média de

730,1 mm, porém a variação não seguiu uma tendência linear.

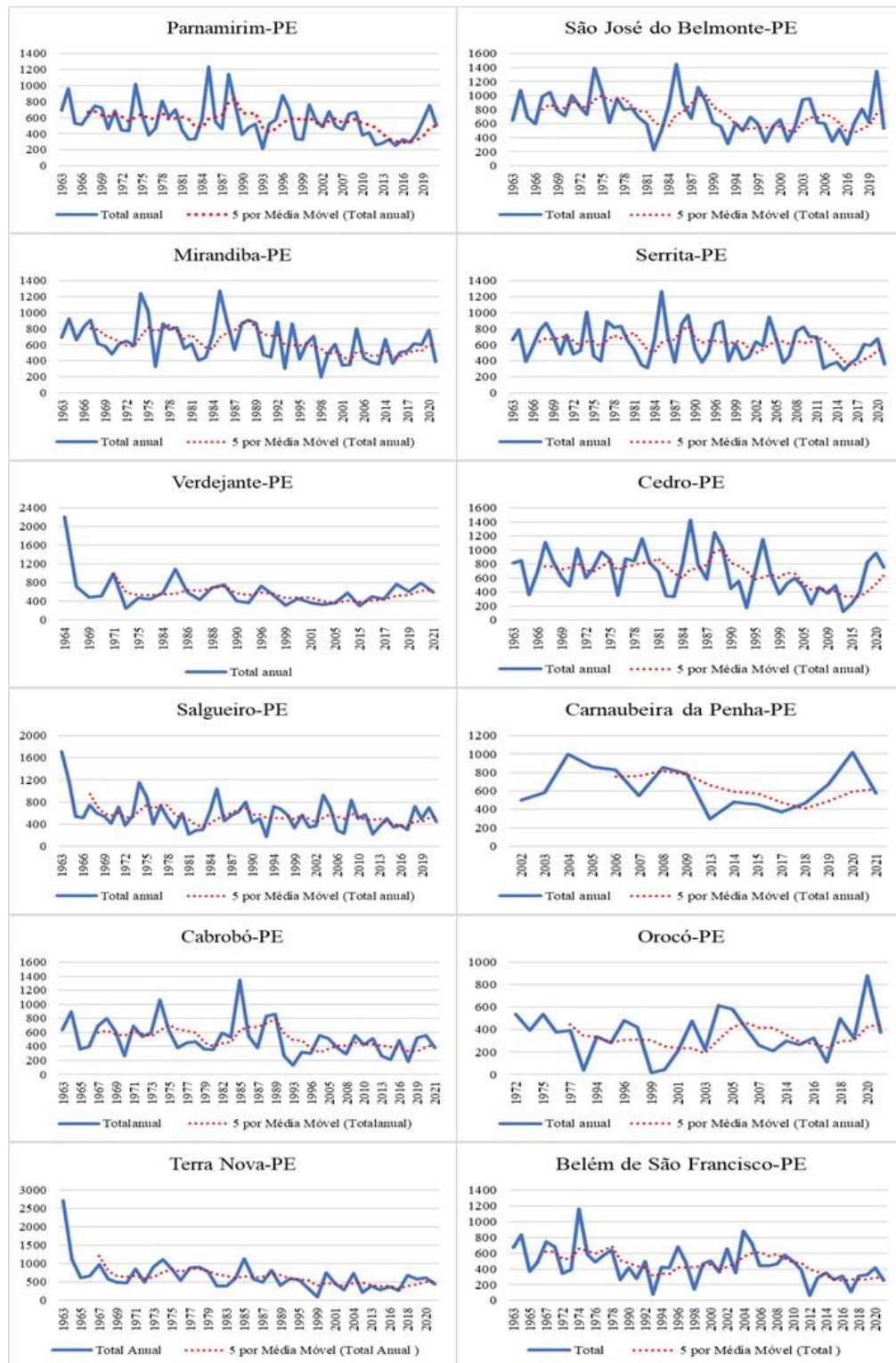


Figura 3 – Variabilidade Climática interanual dos municípios inseridos na bacia hidrográfica de Terra Nova, Pernambuco-Brasil.

Já na Figura 3 mostra a variabilidade pluviométrica mensal nos municípios da bacia hidrográfica do rio Terra Nova, onde verificou-se que os meses de janeiro, fevereiro, março e abril foram marcados como o período mais chuvoso da série. É nesse período entre verão-outono que costuma ocorrer concentrações de chuvas mais intensas no Nordeste, devido a interação entre os vórtices ciclônicos, Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) (Meneghetti; Ferreira, 2009).

Apesar do período chuvoso da bacia concentrar no quadrimestral citado, o mês de março se distingue com as maiores precipitações

em todos os municípios, o que ocasionou os desastres de chuvas intensas na maioria das cidades da bacia no ano de 2004 registrado pela plataforma do sistema nacional e de defesa civil que integra diversos produtos da Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (Sedec), denominada *sistema de integração de informações sobre desastres – S2ID*.

Entretanto, o período menos chuvoso é observado nos meses de maio a dezembro, onde possivelmente deve-se aos efeitos da atuação do El Niño e sua frente quente impedindo a passagem a massa de ar fria vindo do sul do país, ocasionado secas prolongadas no Nordeste (Almeida; Rigolin, 2017).

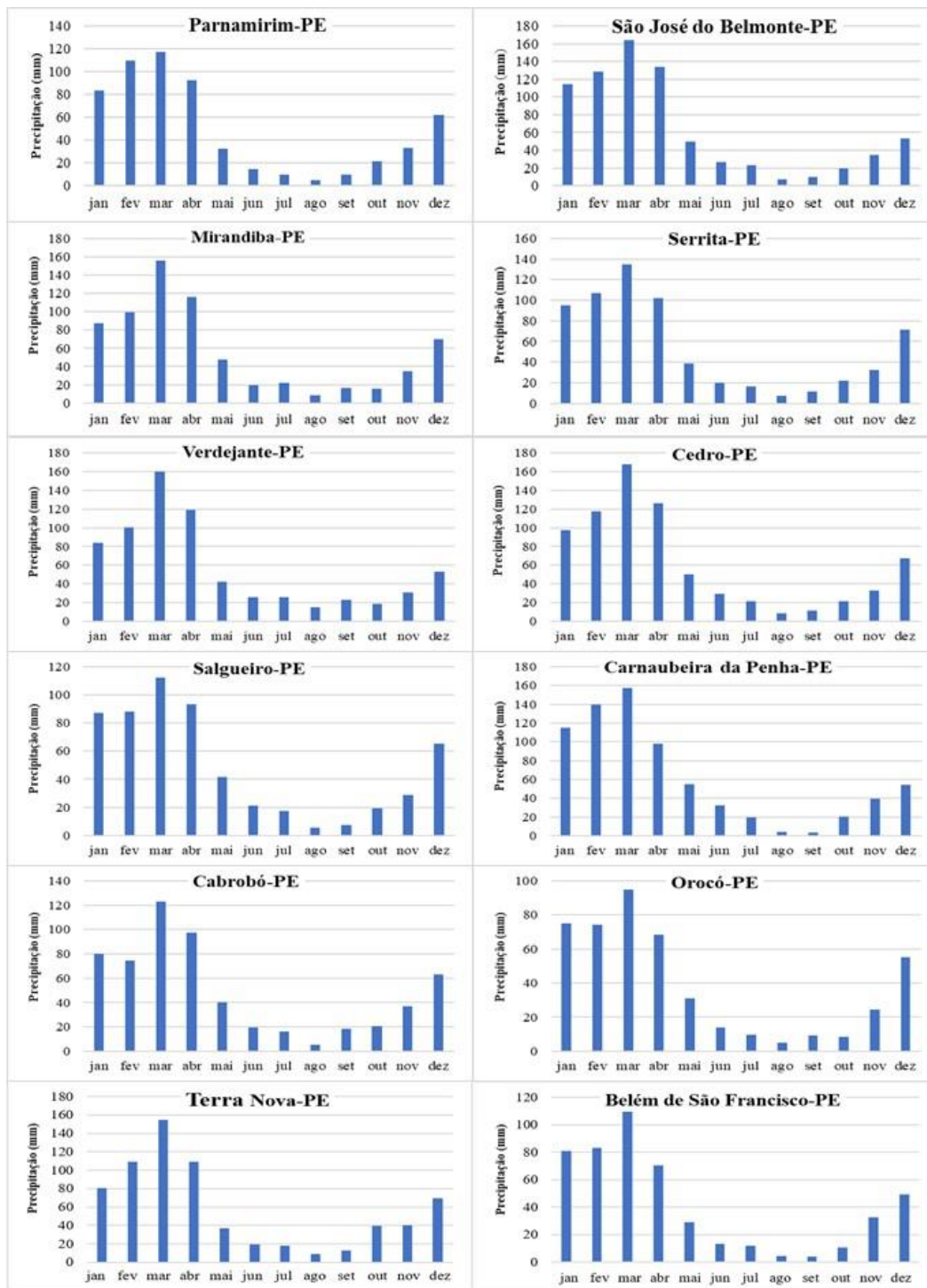


Figura 4 – Variabilidade Climática mensal dos municípios inseridos na bacia hidrográfica de Terra Nova, Pernambuco-Brasil. Fonte: Autores (2021).

### ***Uso e cobertura da terra através do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NVDI)***

Toda sociedade se distribui em um sistema espacial que evolui ao longo do tempo, nesse contexto, qualquer ação de incremento, avanço ou retrocesso desta se registrará no espaço (Folharini; Souza, 2019). desde modo, analisar o sistema de uma bacia hidrográfica, como a Bacia

Hidrográfica de Terra Nova, é preciso observar a complexidade sistêmica deste ambiente, sua singularidade para a área e para a população, bem como, os arranjos do processo de seu uso e ocupação.

Para identificação da dinâmica desse espaço, ainda mais com o desafio das mudanças climáticas que está diretamente ligada ao ciclo hidrológico das bacias e/ou a todo o sistema

ambiental, tem-se utilizado das técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento para mapeamento e conhecimento da cobertura de uma determinada área (Almeida *et al.*, 2018; ANDRADE *et al.*, 2020; Oliveira *et al.*, 2020; Oliveira, Aquino, 2020; Silva, 2020).

Dentre essas técnicas está a aplicação de índices de vegetação (IVs), os quais utilizam os níveis de reflectância em determinados comprimentos de onda, ou seja, em intervalos da “faixa espectral” (Santana *et al.*, 2018). Ainda segundo esses autores, tais índices permitem discriminar a vegetação através de sua estrutura e desempenho fotossintético, podendo ser aplicados em nível orbital, utilizando sensores multiespectrais e hiperespectrais. Dentre os mais utilizados, se encontra o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), o qual, de acordo com as pesquisas de Almeida (2018), esse é um

parâmetro biofísico relevante para o monitoramento das mudanças sazonais e temporal das atividades da vegetação. E, portanto, foi utilizado nesse estudo.

A Figura 5 mostra a variação espacial e temporal da cobertura vegetal na bacia de Terra Nova em outubro de 2013. Nota-se que a região noroeste da bacia apresenta a menor cobertura vegetal. Também é possível observar a menor cobertura vegetal nas áreas próximas ao canal da transposição. Valores abaixo de 0 são correlacionados a ausência de vegetação e quanto mais próxima a 1 se torna mais abundante a presença da vegetação, podendo assim analisar se essa vegetação está saudável ou se está entrando em declínio devido alguma interferência antrópica ou intempérie natural (ANDRADE *et al.*, 2020). E/ou relacionado a presença de água.

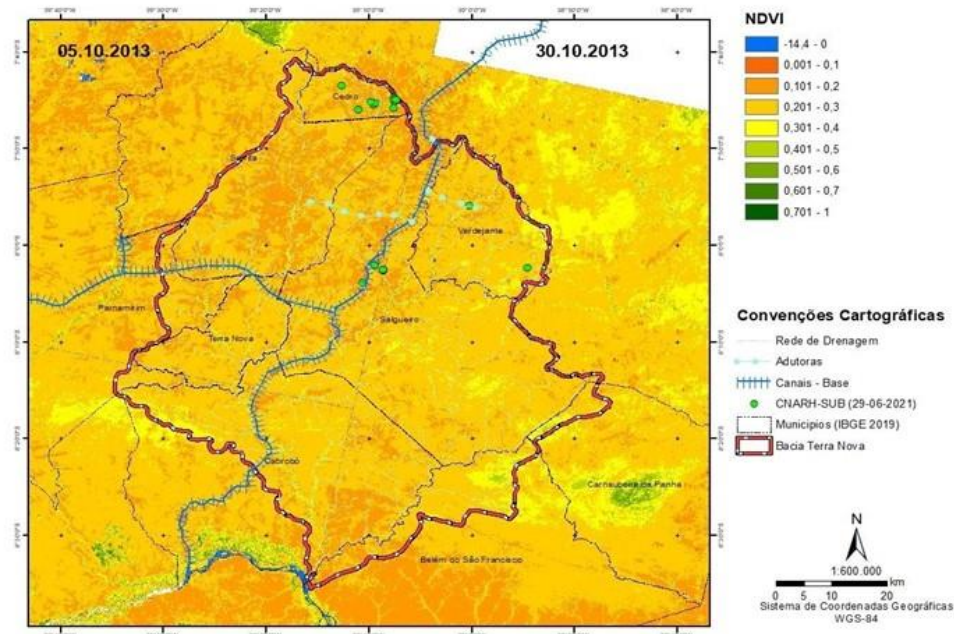


Figura 5 - Variação da cobertura vegetal na BHTN, outubro de 2013.

Em setembro de 2015, Figura 6, nota-se que os índices de cobertura vegetal na bacia de Terra Nova estavam mais elevados. Comparando as condições climáticas de 2013, é possível

perceber que houve alterações principalmente na região nordeste e sudoeste da bacia. Correspondendo os municípios de Mirandiba, Carnaubeira da Penha e a parte sul de Salgueiro.

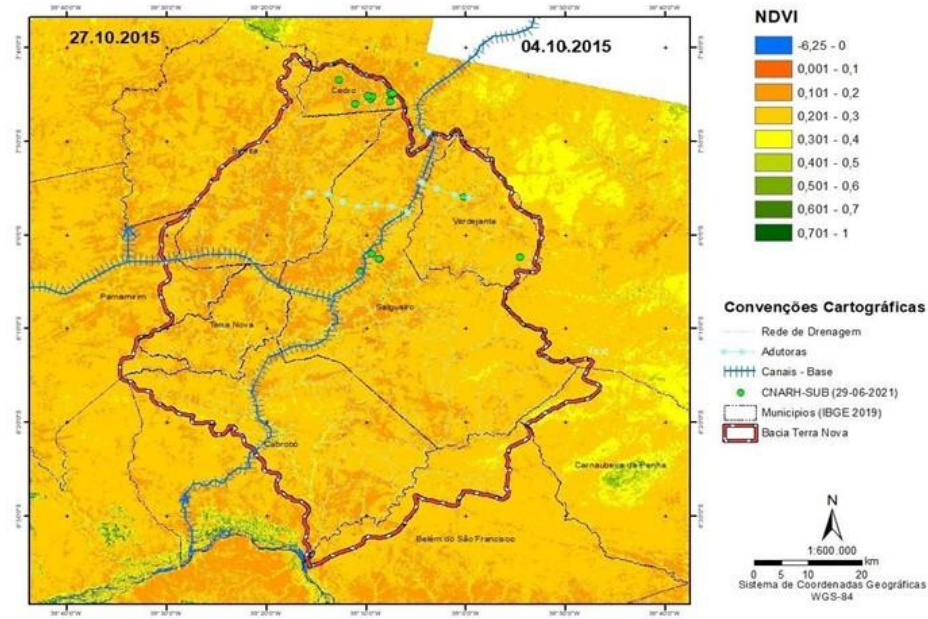


Figura 6 - Variação da cobertura vegetal na BHTN, outubro de 2015. Fonte: Autores (2021).

Já a Figura 7, 8 e 9 mostram as variações da cobertura vegetal na BHTN, no 2019 em meses diferentes, setembro, novembro e dezembro respectivamente. Mesmo sendo no mesmo ano, é possível perceber mudanças bruscas de elevação

da cobertura vegetal no mês de dezembro, modificando totalmente o cenário da bacia. Geralmente é nesse período que se inicia os maiores registros pluviométricos entre o verão-outono na região.

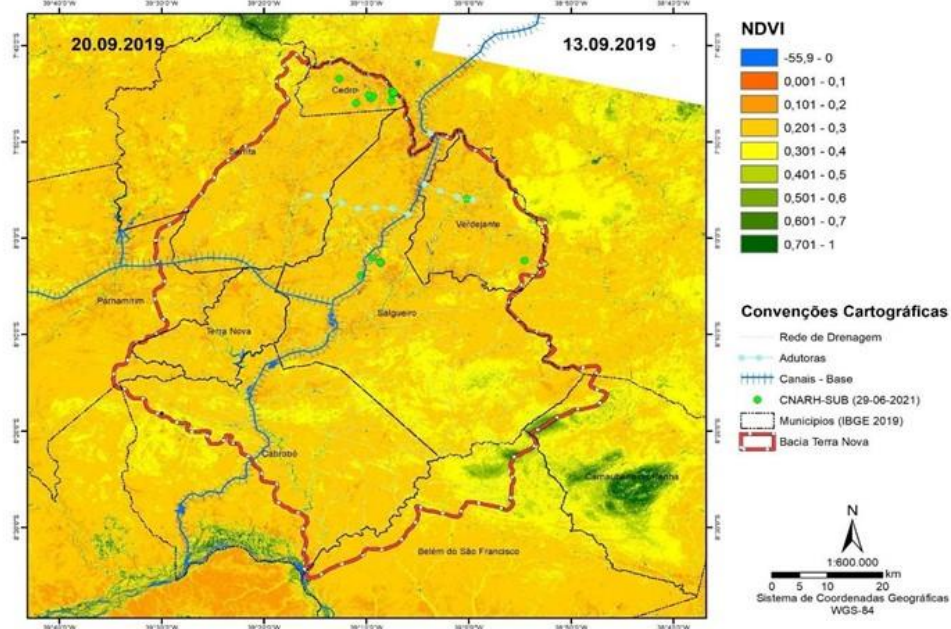


Figura 7 - Variação da cobertura vegetal na BHTN, setembro de 2019.

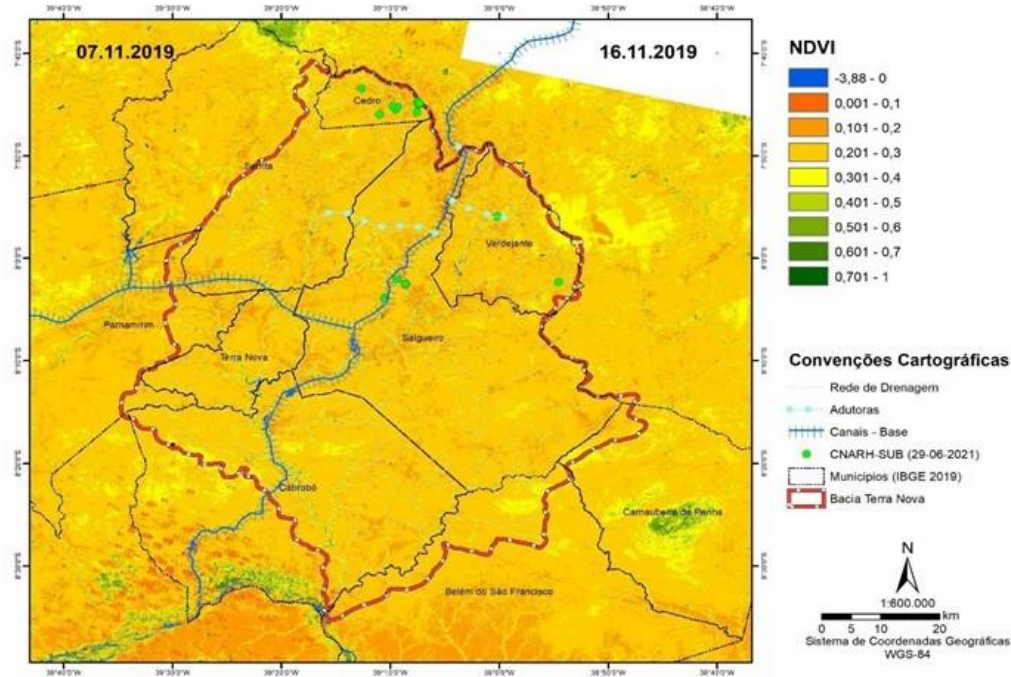


Figura 8 - Variação da cobertura vegetal na BHTN, novembro de 2019.

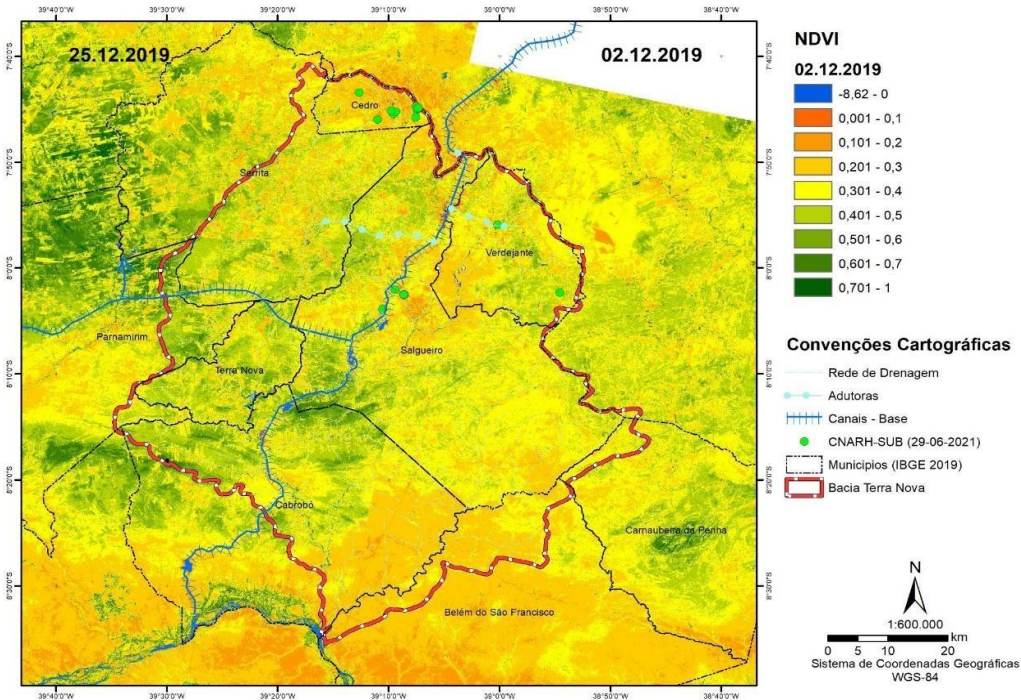


Figura 9 - Variação da cobertura vegetal BHTN, dezembro de 2019.

E por fim, na figura – 10 percebemos como o ano de 2020 foi favorável para a bacia.

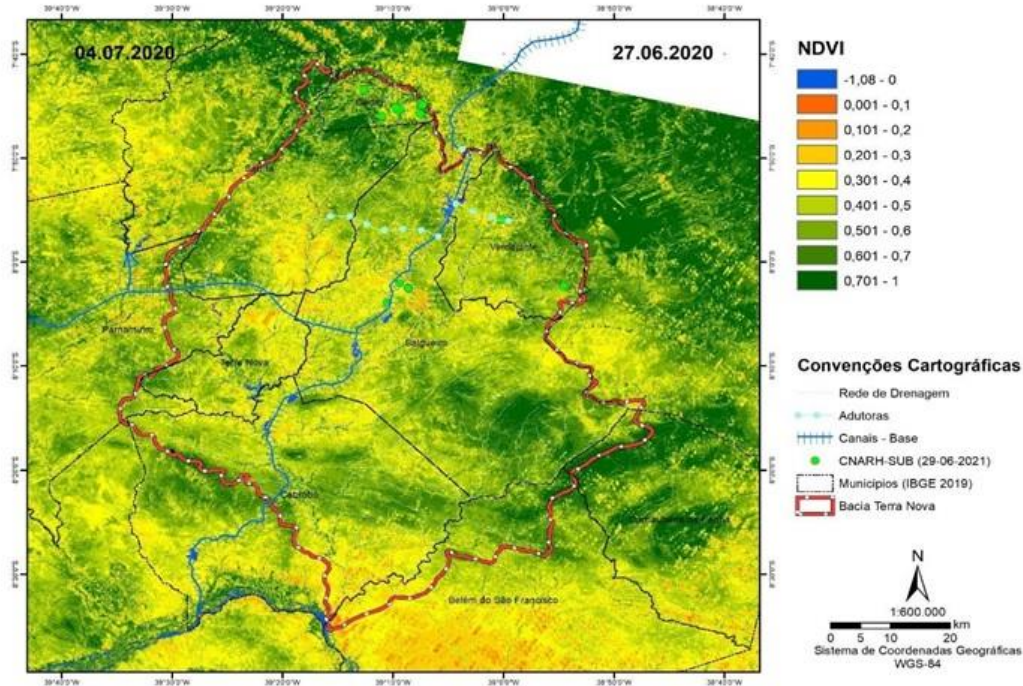


Figura 10 - Variação da cobertura vegetal na BHTN, junho e julho de 2020.

### Índices de vulnerabilidade e de risco à desastres ocasionados pela seca

A distribuição da população e da densidade demográfica está demonstrada na figura 11 e 12 a qual revela que na parte centro-leste predomina a região mais populosa e a Leste-Oeste apresenta as maiores densidades demográficas da

bacia hidrográfica de Terra Nova, com destaque para a cidade de Salgueiro que está totalmente inserida na bacia e possui ambos os índices elevados. Destacando-se ainda as cidades de Terra Nova e Cedro com o índice de densidade demográfico alto.

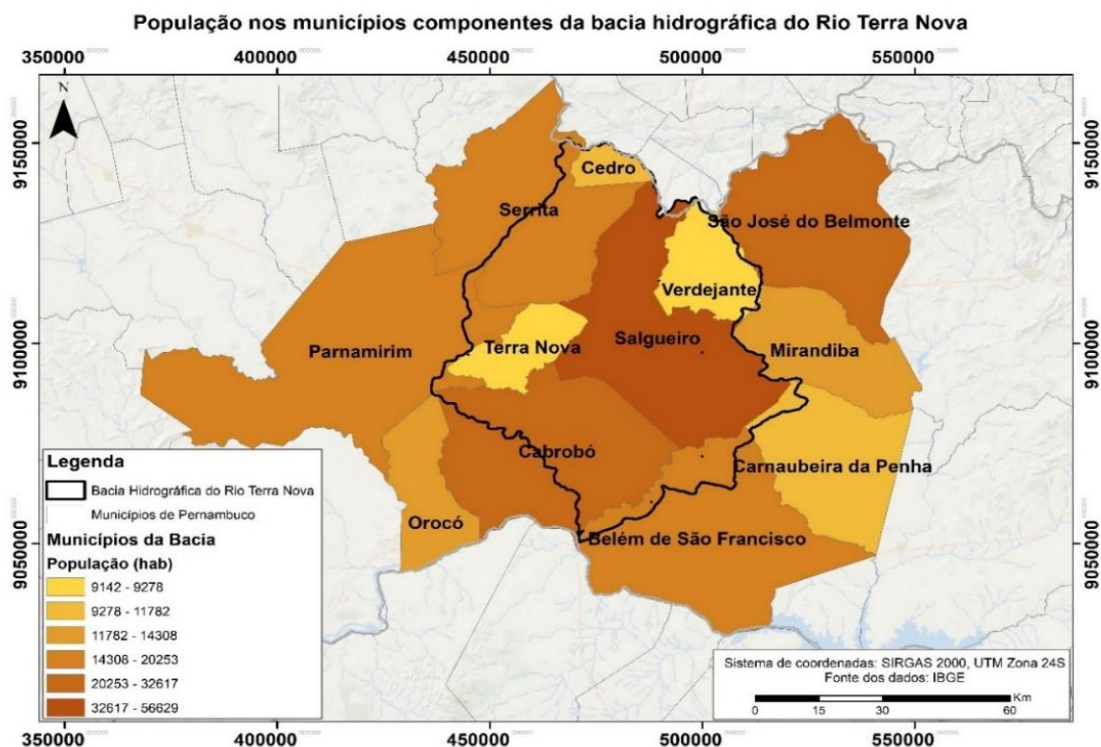


Figura 11 Distribuição espacial da população.

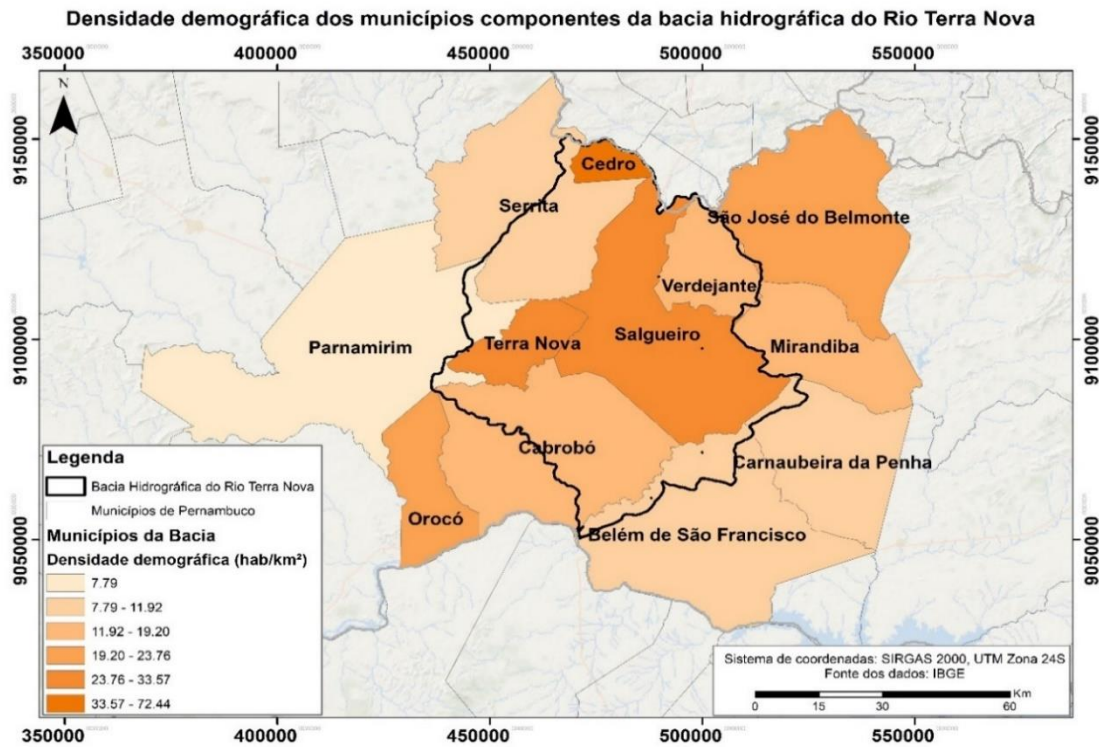


Figura 12 - Densidade demográfica.

Acrescentando-se a região sudoeste, ressalta-se que essas áreas estão localizadas nas regiões com poder aquisitivo muito baixo, conforme ainda a figura 13 e 14 os quais representam o total de renda média (c) e a quantidade de salários por município (d). Os maiores números de salários são observados

próximos a região central, norte, se concentrando inteiramente na cidade de Salgueiro (d). Por outro lado, os municípios de Terra Nova, Cedro, Carnaubeira e Cabrobó recebem a menor quantidade de salários, em torno de um ou menos que um salário-mínimo.

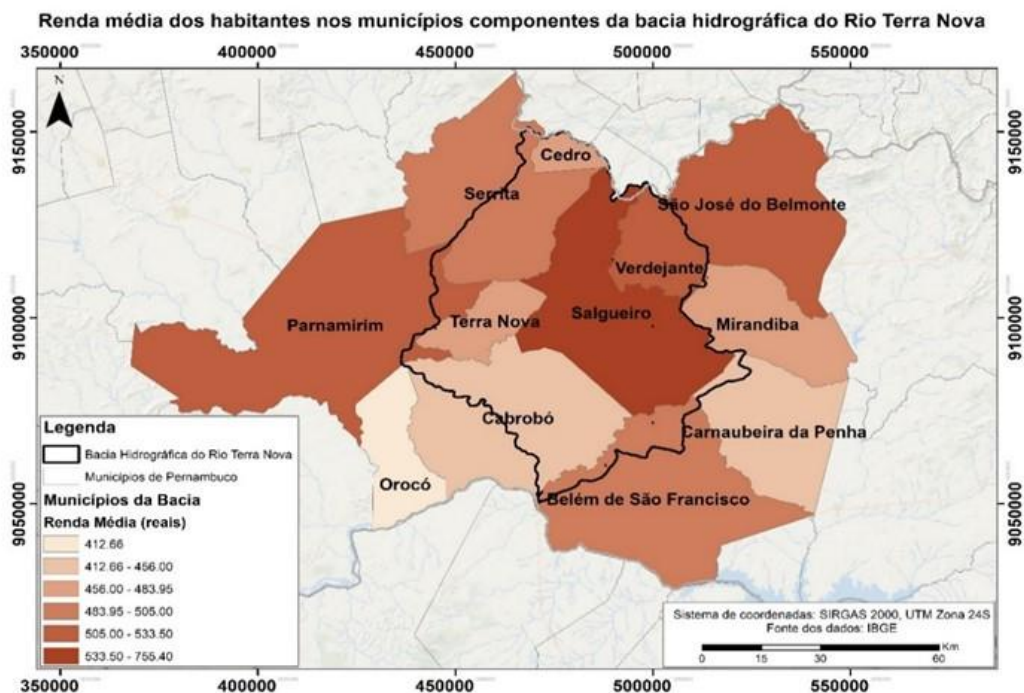


Figura 13 Renda Média.

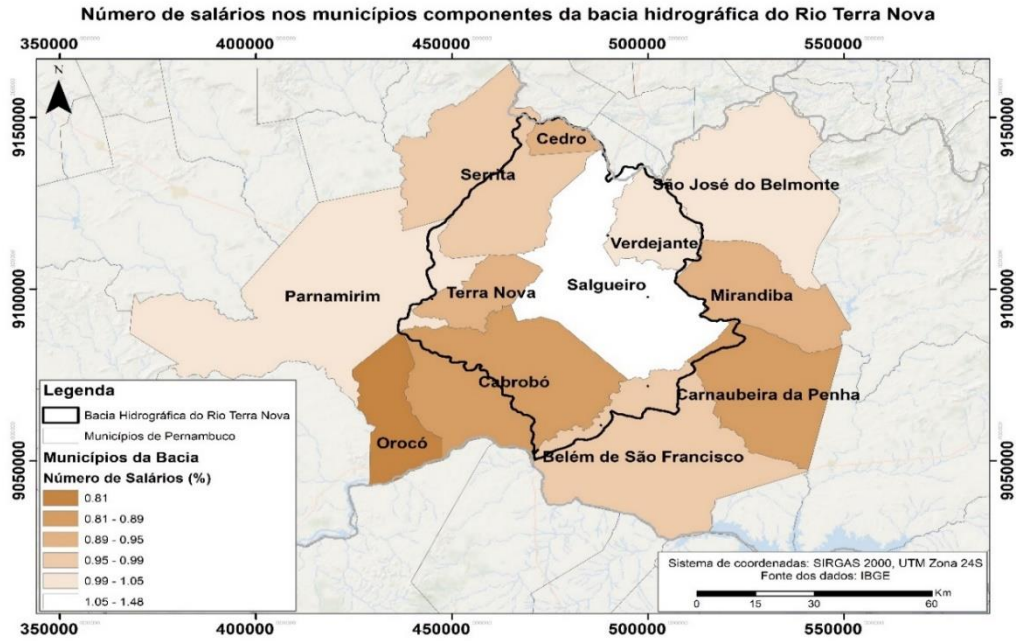


Figura 14 Número de salário.

Analisando a Figura 15 nota-se que os maiores índices de IDH (0,642 a 0,669) concentram-se próximo a região central e norte, especificamente Salgueiro e Belém do São Francisco com os índices mais altos, coincidindo com os melhores salários, com exceção da

regional Sudeste com predominância de valores oscilando entre 0,623 - 0,642. Por outro lado, os piores índices (0,573 e 0,595) foram observados nas regiões Noroeste, Oeste e Nordeste, coincidindo com as áreas mais pobres da bacia.

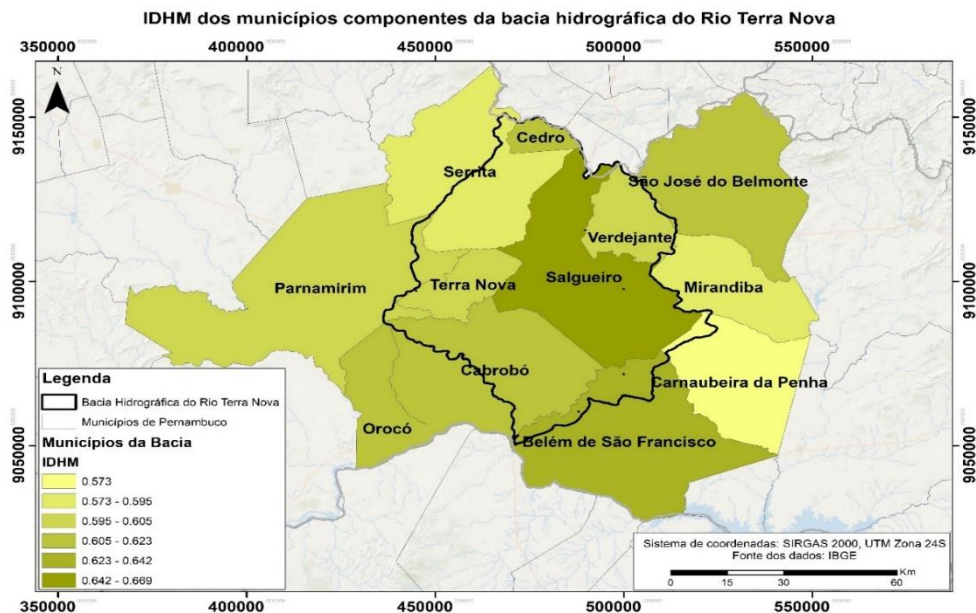


Figura 15 - Distribuição espacial do IDH.

Em relação aos parâmetros IDH-E, IDH-R e IDH-L (Figuras 16, 17 e 18), apesar de

apresentarem alta correlação com o IDHM e grande similaridade visual entre os mapas, cabe

salientar que o município de Serrita na regional Noroeste, possui os três indicadores mais baixo da bacia, que pode estar associado a um dos maiores

quantidade populacional da bacia, associada aos grandes contrastes sociais e econômicos existentes.

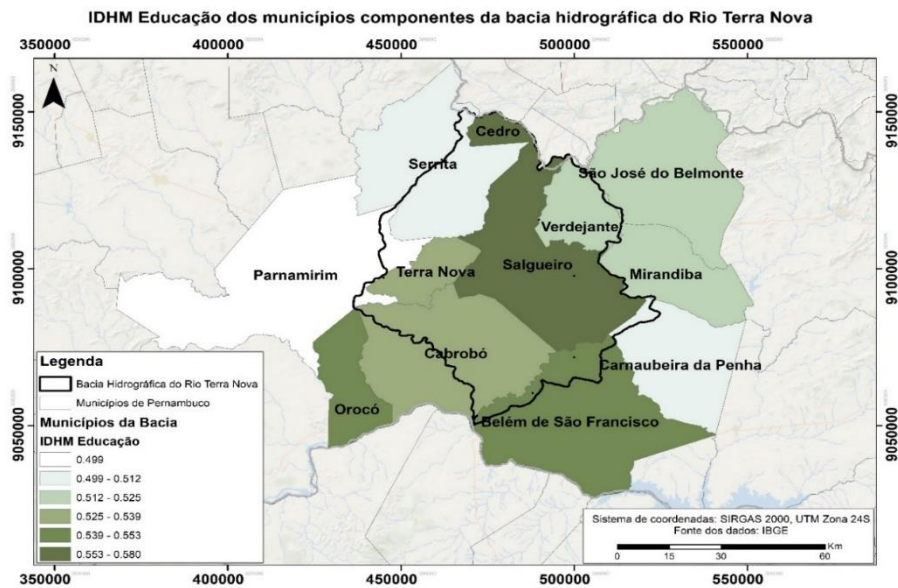


Figura 16 IDHM–E (Educação).

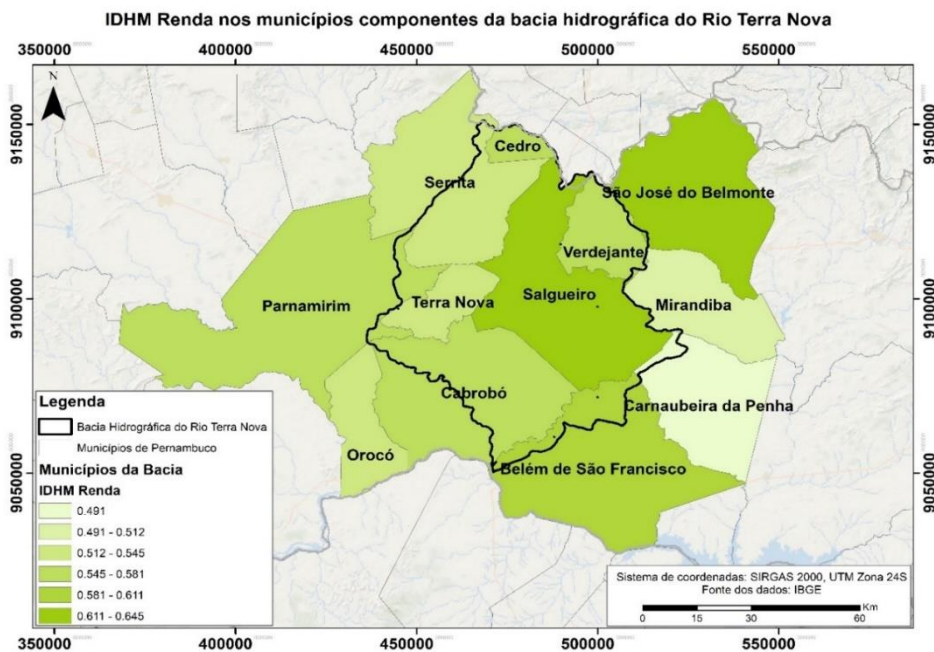


Figura 17 DHM–R (Renda).

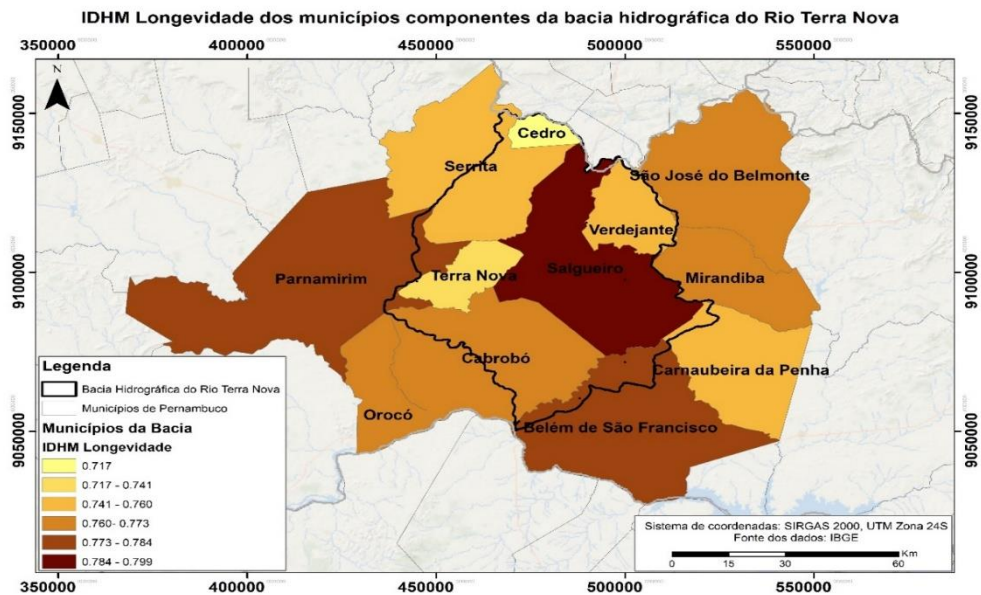


Figura 18 - IDHM-L (Longevidade).

Também encontra-se uma grande similaridade nos mapas da figura 19 distribuição espacial de domicílios com banheiro, na Figura 20 destinação do lixo, na Figura 21 abastecimento de água, e na Figura 22 rede de esgoto, pois todos os altos índices analisados nesse mapa estão

concentrados nos municípios de Salgueiro, Terra Nova, Cedro e Cabrobó e em contraposição temos uma parte dos municípios de Serrita, Parnamirim, Verdejante, Mirandiba, São José do Belmonte na maioria dos casos com os índices mais baixos.

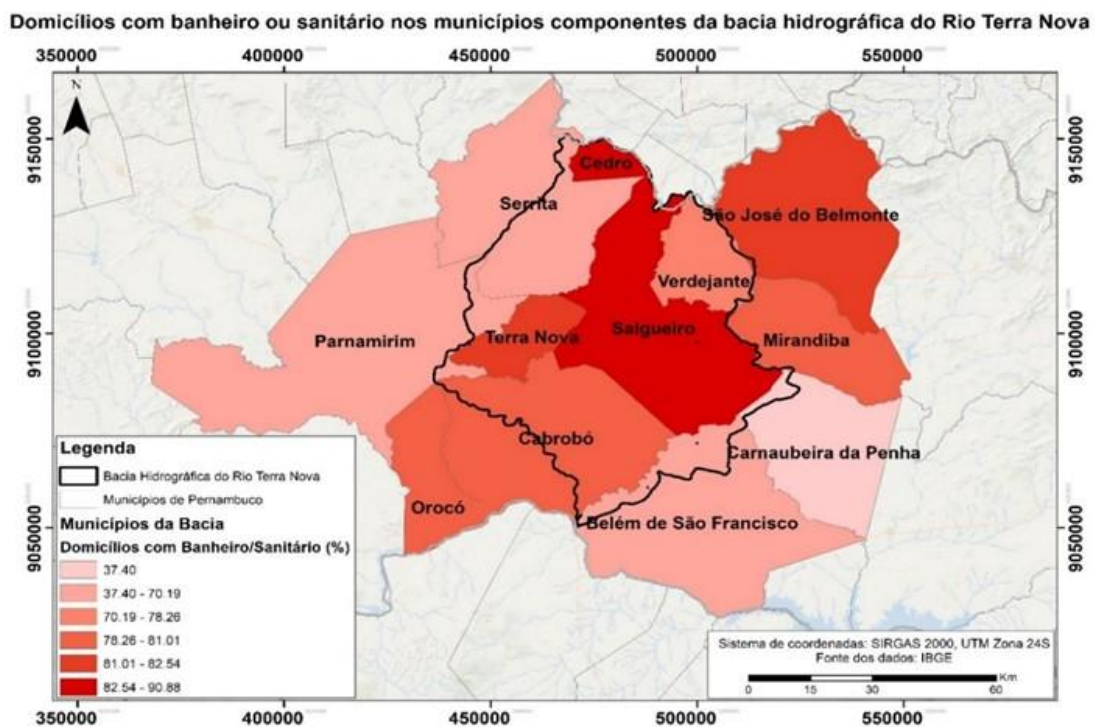


Figura 19 Distribuição espacial de domicílios com banheiro.

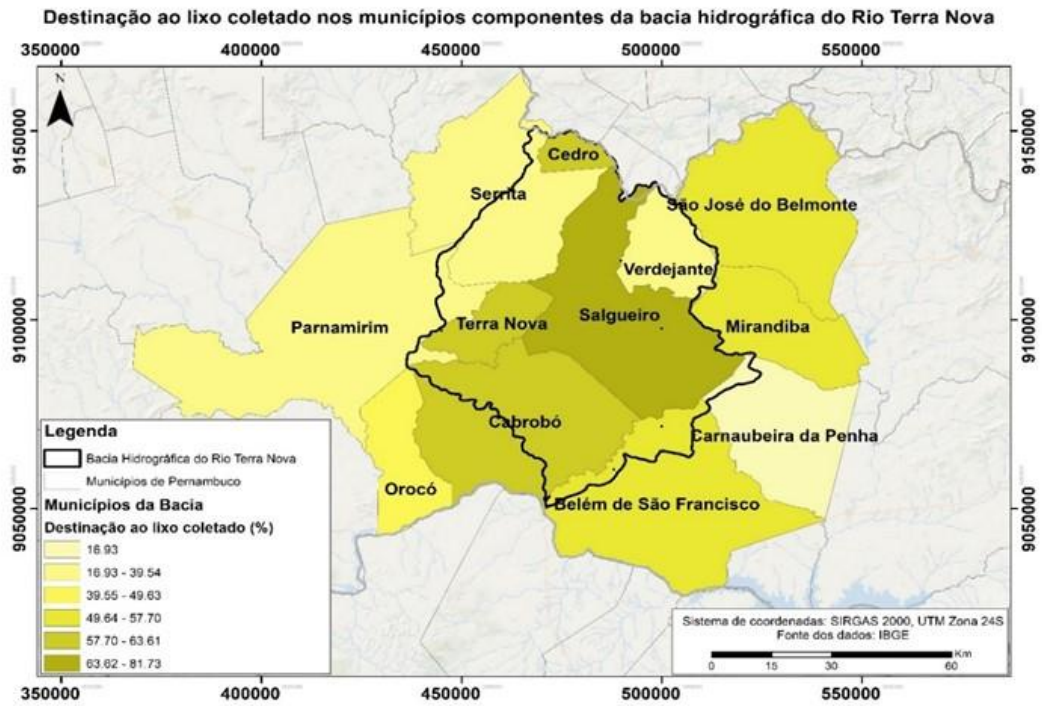


Figura 20 Destinação do lixo.

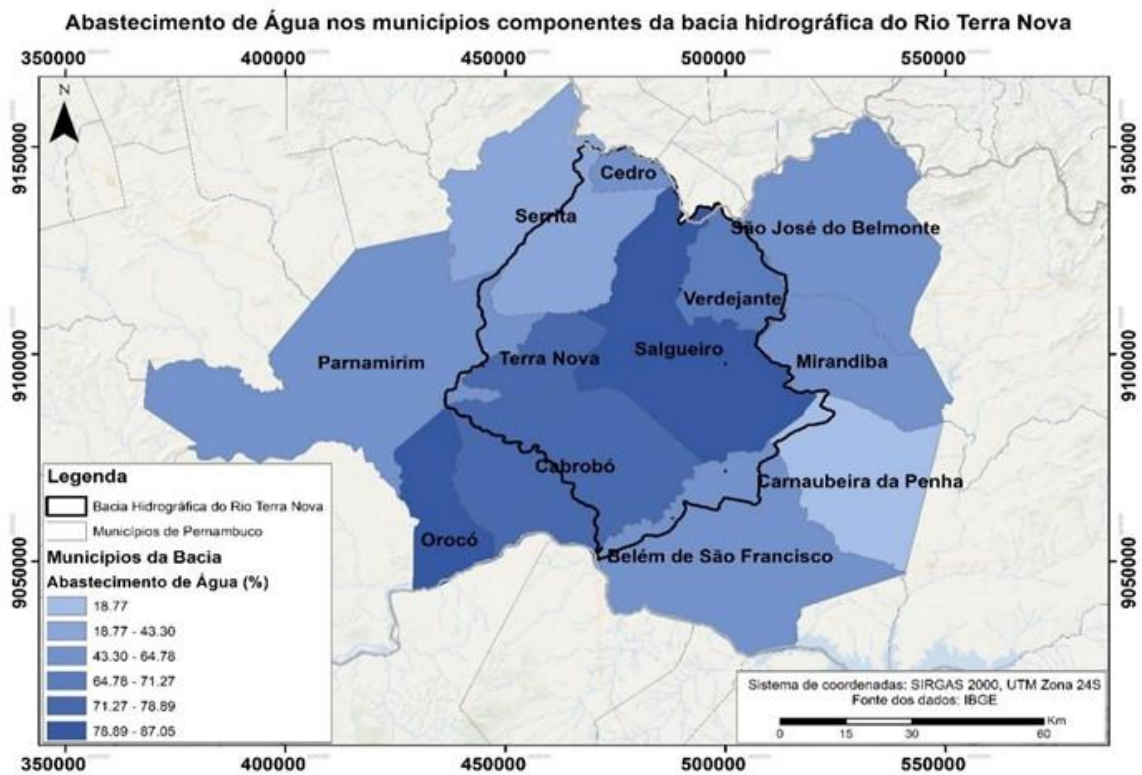


Figura 21 Abastecimento de água.

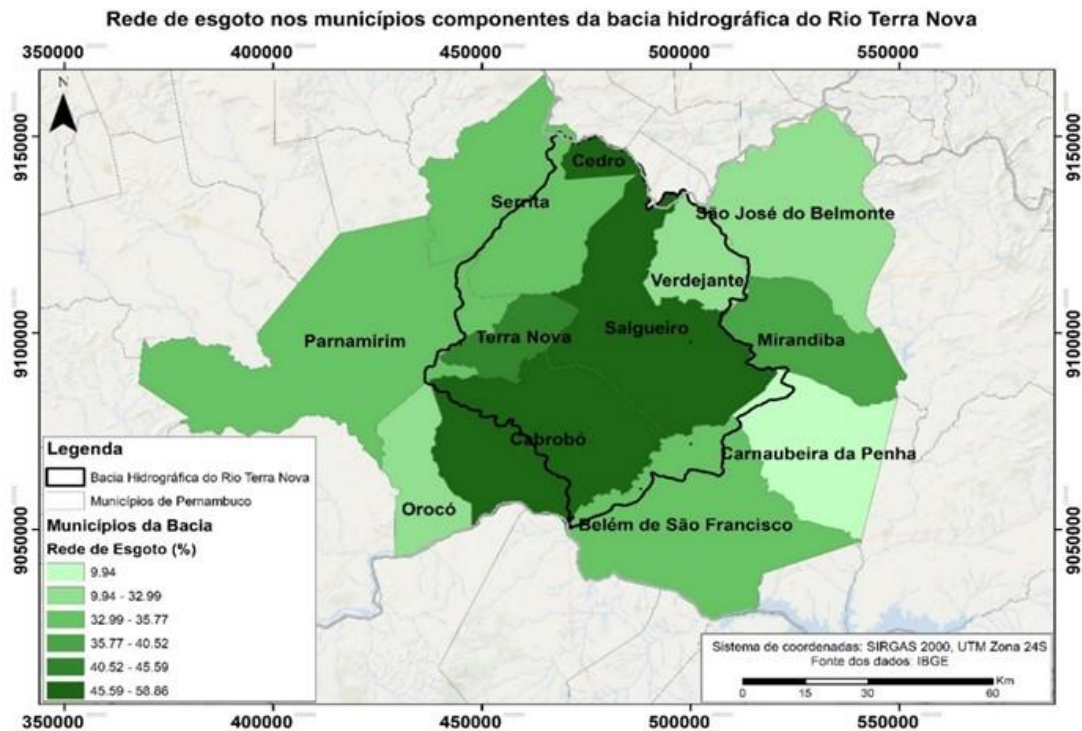


Figura 22 Rede de esgoto.

Há vulnerabilidade na maioria dos municípios da bacia, mesmo naqueles que apresentaram índices bons como Salgueiro que tem o melhor IDHM, melhor renda média, quantidade de salários, porém é também é o município mais populoso, tornando-o mais vulnerável ficando com uma classificação alta

(0,4943 – 1,000) como mostrada na figura 23. Por outro lado, os municípios com a menor população (Terra Nova, Cedro e Carnaubeira da Penha), apresentam as menores vulnerabilidades. Essa vulnerabilidade também é justificável dada a localização geográfica, área semiárida e suas às características pluviométricas.

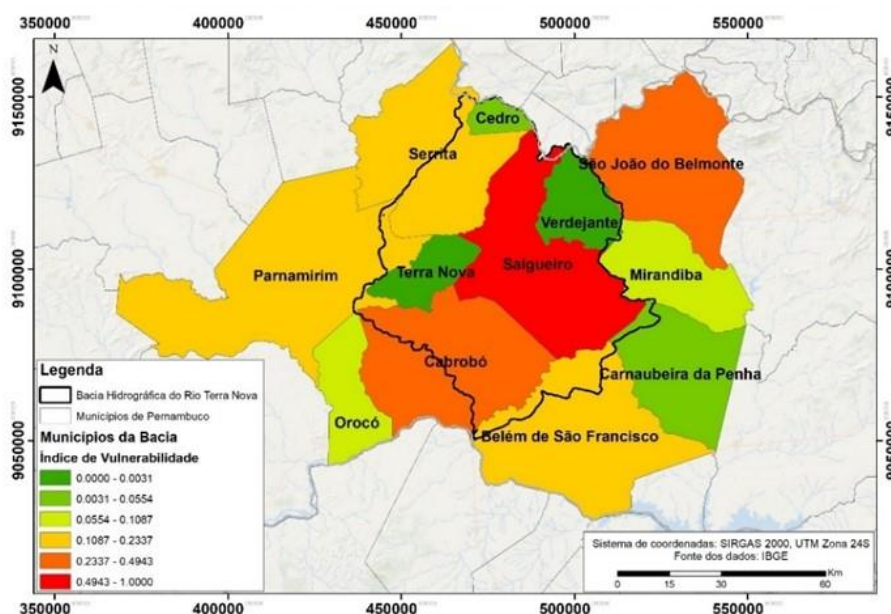


Figura 23 - Distribuição espacial do índice de vulnerabilidade a desastres na BHTN.

E por fim, temos a distribuição da quantidade de desastres ocorridos entre os anos de 2003 e 2016 na BHTN, onde os municípios de Salgueiro e Belém de São Francisco se destacam com a maior quantidade de casos de desastres

figura 24. Sendo que o tipo predominante registrado foi a estiagem em todos os municípios, apesar de ter ocorrido enxurradas e chuvas intensas no ano de 2004 e 2008 em algumas áreas.

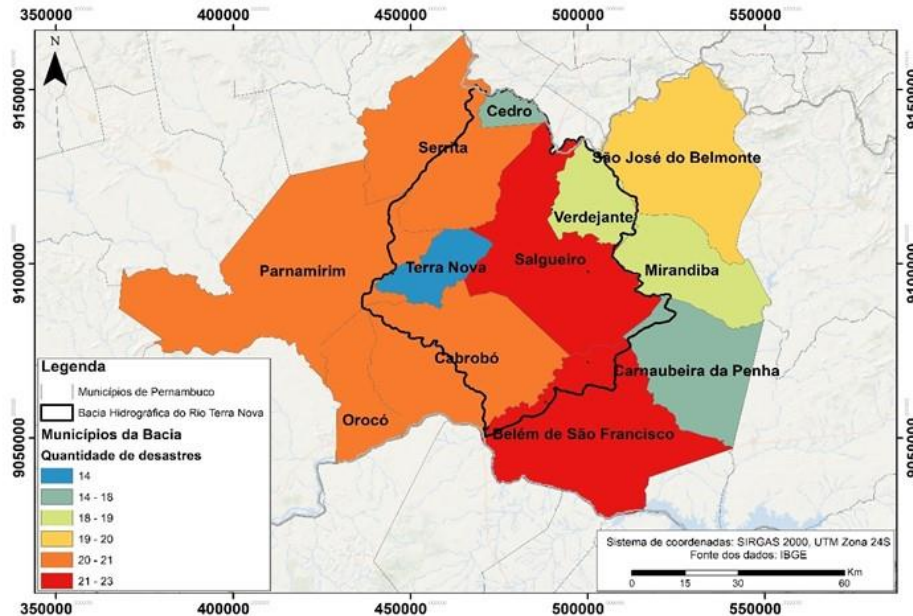


Figura 24 - Distribuição da quantidade de desastres na BHTN entre 2003 e 2016.

## Conclusão

A sociedade sempre esteve exposta a riscos das mais variadas origens e isso não é nenhuma novidade. No entanto, nota-se que as consequências dos eventos catastróficos das últimas décadas têm atingido cada vez mais pessoas, e os fatores que levam a esses acontecimentos estão cada vez mais inter-relacionados.

Dentro das variáveis abordadas neste trabalho, na análise da precipitação anual constatou-se que a bacia tem seus picos chuvosos e secos, sendo estes mais constantes ainda mais nas últimas décadas, porém, ambas as precipitações quando ocorrem em intensidade e frequência extrema tem ocasionado desastres afetando assim todas as esferas da sociedade. Todos os eventos com essa magnitude estiveram atrelados principalmente ao sistema atmosférico ZCIT e EL Nino e Lã Niña.

Já na análise da precipitação mensal, verificou-se que entre julho a outubro, de forma geral, são os meses com as menores frequências com registro de precipitação e com as maiores ocorrências de desastres, coincidindo com os meses mais secos. Já o período de janeiro a abril é considerado o mais chuvoso com destaque para

esse último em que ocorreu a maioria das ocorrências de enxurradas/chuvas intensas segundo o banco de dados do S2ID.

É comum a frequência de desastres associados a seca no semiárido, e principalmente a falta de planejamento que os municípios que compõe a BHTN oferecem, aliado as condições sociais e econômicas da população mais pobre, sendo os problemas agravados pela sociedade devido à falta de percepção e educação em relação ao ambiente em que vivem.

Em relação a uso e ocupação da área da bacia, devido as suas características principalmente climáticas teve sua área com índice de NDVI baixo na maioria dos anos analisados, com destaque para o entorno na transposição onde as atividades agropecuárias são mais desenvolvidas. A maioria dos municípios apresentaram riscos elevados a desastres por terem peculiaridade de alta vulnerabilidade, a bacia foi classificada em sua grande parte como índice de 0,494, um índice elevado, como também, pela suscetibilidade do semiárido.

Os riscos socioambientais podem se manifestar para toda a população de uma determinada área num certo momento, especialmente quando há ocorrência de perigos seja natural ou social, porém não atinge a todos da

mesma maneira. Esse aspecto coloca em evidência as diferentes formas de suscetibilidade das populações aos impactos dos eventos extremos, sendo neste caso evidenciada a vulnerabilidade socioambiental das populações aos riscos socioambientais.

## Agradecimentos

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco – FACEPE pelo suporte financeiro e concessão de bolsa, e a Agência pernambucana de águas e clima (APAC) que têm interesses na área de estudo.

## Referências

- Almeida, D. N. O.; Oliveira, L. M. M.; Candeias, A. L. B.; Bezerra, U. A.; Sousa Leite, A. C. (2018) Uso e cobertura do solo utilizando geoprocessamento em municípios do Agreste de Pernambuco. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, 4, 058-068.
- Almeida, L. M. A.; Rigolin, T. B. (2017) Fronteiras da globalização: O espaço brasileiro: natureza e trabalho. 3. ed. São Paulo: Ed. Ática, 288. 3.
- Andrade, A. S.; Ribeiro, S. C. A.; Pereira, B. W. F.; Brandão, V. V. P. (2020) Fragmentação da vegetação da bacia hidrográfica do Rio Marapanim, nordeste do Pará. *Ciência Florestal*, Santa Maria, 30, 406-420, abr./jun. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509835074>.
- ATLAS BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS: 1991 A 2012 / Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. 2. ed. rev. ampl. – Florianópolis: CEPED UFSC, 130 p., 2013.
- Duarte, C. C. Eventos extremos de chuva e análise da suscetibilidade a movimentos de massa no município de Ipojuca-PE. 275 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Departamento de Ciências Geográficas, Universidade Federal de Pernambuco, 2015.
- EARTH EXPLORER Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em 27 jul. 2021.
- Folharini, S. O.; Souza, S. O. (2019) Mapeamento do Uso e Ocupação da Terra do Município de Petrolina (PE) – Médio Vale do Rio São Francisco Através do NDVI de Imagem LANDSAT 8 (OLI). *Revista Equador (UFPI)*, Vol. 8, Nº 2, p.489 – 502.
- Huang, Y., Xiao W., Hou B., Zhou Y., Hou G., YI L., Cui H. (2021) Hydrological projections in the upper reaches of the Yangtze River Basin from 2020 to 2050. *Nature - Scientific Reports* 11, 9720. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-88135-5>
- Marengo, J. A.; Alves, L. M.; Alvala, R.C.S.; Cunha, A. P.; Brito, S.; Moraes, O. L. L. (2017) Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* (2018) 90(2 Suppl. 1): 1973-1985 (Annals of the Brazilian Academy of Sciences).
- Medeiros, F. J. de; Oliveira, C. P. de; Torres, R. R. (2020) Climatic aspects and vertical structure circulation associated with the severe drought in Northeast Brazil (2012–2016). *Climate Dynamics*, Alemanha, 18 jul.
- Meneghetti, G. T.; Ferreira, N. J. (2009) Variabilidade sazonal e interanual da precipitação no Nordeste brasileiro. *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Natal-RN, p. 1685-1689, 25-30/abr.
- NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). Landsat 8. Disponível em: [http://www.nasa.gov/mission\\_pages/landsat/spacecraft/index.html#UieDrZY3s0M](http://www.nasa.gov/mission_pages/landsat/spacecraft/index.html#UieDrZY3s0M). Acesso em: 04 ago. 2021.
- Oliveira, L. N.; Aquino, C. M. S. (2020) Índice da Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) na Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Gurguéia, Piauí-Brasil: Análise do Efeito da Expansão Agrícola. *Revista Geoaraguaia*. Barra do Garças –MT 10, 126-143.
- Oliveira, M. K. S.; Ferreira, E. A.; Almeida, N. V.; Silva, E. F.; VASCONCELOS, A. A. (2021) Dinâmica Espaço-Temporal da Paisagem Semiárida no Município de Apodi/RN e seus Condicionantes Socioeconômicos e Ambientais. *Revista Brasileira de Geografia Física* 14, 2446-2464.
- Ramos, C. Da S.; Sanchez, M. C. (2000) Estudo Metodológico da Classificação de Dados para Cartografia. *Geografia*, 25, 23–52, ago.
- Rodrigues, E. S. P.; Magalhães, A. R. A seca de 2012-2015 no Nordeste e seus impactos. *Políticas nacionais da seca*, Brasília-DF, 20, ed. Especial, p. 107-128, Jul/dez., 2015.
- Santana, A. S. de; Santos, G. R. (2020) Impactos da seca de 2012-2017 na região semiárida do Nordeste: notas sobre a abordagem de dados quantitativos e conclusões qualitativas. *Boletim regional, urbano e ambiental*, [s. l.], 22/jan.-jun.
- Santana, S. H. C.; Silva, E. R. A. C.; Laurentino, M. L. S.; Melo, J. G. S.; Galvêncio J. D. (2018) Identificação dos índices de vegetação com

- melhores respostas espectrais para a Mata Atlântica na cidade de São Paulo-SP. *Journal of Environmental Analysis and Progress* 03, 200-209.
- Santos, E.; Matos, H.; Alvarenga, J.; Sales, M. C. L. (2012) A seca no Nordeste no ano de 2012: Relato sobre a estiagem na região e o exemplo de prática de convivência com o seminário no distrito de Iguaçu/Canindé-CE. *Revista Geonorte*, [s. l.], 1, 819 - 830.
- Silva, E. R. A. C. Análise da dinâmica climática em bacias semiáridas no Eixo Norte do Projeto de Transposição do Rio São Francisco: contribuições para o cumprimento dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável. 222 f. Tese (Doutorado/Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente) -Recife-PE, 2020.
- Silva, R. O. B.; Montenegro, S. M. G. L.; Souza, W. M. (2017) Tendências de mudanças climáticas na precipitação pluviométrica nas bacias hidrográficas do estado de Pernambuco. *Eng. Sanitária Ambiental*, [s. l.], 22, 579-589, mai./jun.
- Sun J., LEI X., Tian Y., Liao W., WANG Y. Hydrological impacts of climate change in the upper reaches of the Yangtze River Basin. *Quaternary International*, North Yorkshire, UK, 304, 62-74, 2013.
- Zhao, G; Mu, X.; Tian, P; Wang, F.; Gao, P. Climate changes and their impacts on water resources in semiarid regions: a case study of the Wei River basin, China. *Hydrological Processes*, Chichester, UK, GB, 27, 3852-3863. 2013.