

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

PEDRO VICTOR DE ARAUJO BAÊTA

**ESTUDO TEMPORAL DO COMPORTAMENTO DA UMIDADE DO SOLO EM
DIFERENTES PROFUNDIDADES NA REGIÃO NORDESTE DO BRASIL A
PARTIR DE DADOS ORBITAIS COMPILADOS DE WEBSITE**

RECIFE

2022

PEDRO VICTOR DE ARAUJO BAETA

**ESTUDO TEMPORAL DO COMPORTAMENTO DA UMIDADE DO SOLO EM
DIFERENTES PROFUNDIDADES NA REGIÃO NORDESTE DO BRASIL A
PARTIR DE DADOS ORBITAIS COMPILADOS DE WEBSITE**

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

Orientadora: Prof. Dra. Simone Sayuri Sato

RECIFE

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Baêta, Pedro Víctor de Araujo.

Estudo temporal do comportamento da umidade do solo em diferentes profundidades na região nordeste do Brasil a partir de dados orbitais compilados de website / Pedro Víctor de Araujo Baêta. - Recife, 2022.

42 p : il.

Orientador(a): Simone Sayuri Sato

Cooorientador(a): Carlos Fabrício Assunção da Silva

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia Cartográfica e de Agrimensura - Bacharelado, 2022.

1. Geoprocessamento. 2. Sensoriamento Remoto. 3. Engenharia Cartográfica. 4. Agricultura. 5. Umidade do solo. I. Sato, Simone Sayuri. (Orientação). II. Silva, Carlos Fabrício Assunção da. (Coorientação). III. Título.

620 CDD (22.ed.)

PEDRO VICTOR DE ARAUJO BAETA

**ESTUDO TEMPORAL DO COMPORTAMENTO DA UMIDADE DO SOLO EM
DIFERENTES PROFUNDIDADES NA REGIÃO NORDESTE DO BRASIL A
PARTIR DE DADOS ORBITAIS COMPILADOS DE WEBSITE**

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

Aprovado em:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra Simone Sayuri Sato – (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Mr.s. Carlos Fabrício Assunção da Silva (Co-orientador)
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Prof. Dr Admilson da Penha Pacheco - (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

RESUMO

Um dos fatores decisivos para o sucesso de um cultivo agrícola, é a disponibilidade de água para as plantas na quantidade certa de acordo com a necessidade hídrica da cultivar, principalmente em locais com baixa e desuniforme pluviometria e baixo investimento em irrigação artificial, como na maioria da região nordeste brasileira. Dessa forma, o conhecimento das características de áreas que possam ser utilizadas para fins agrícolas, pode ajudar na escolha da cultura a ser implantada, fornecendo indícios de melhor adaptação da planta às condições naturais existentes na região. Este trabalho tem como objetivo analisar o comportamento da umidade de solo em diferentes profundidades na Região Nordeste do Brasil a partir de dados orbitais de sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento relativo ao período 2017 a 2021, compilados cartograficamente de Plataforma Web Giovanni da NASA. O estudo desenvolvido, envolveu dados de volume acumulado no solo quadrimestralmente nas profundidades de 40 cm a 200 cm a partir da superfície. A apresentação gráfica por meio de mapas temáticos, ao longo dos anos de 2017 a 2021, utilizando as variáveis visuais da cartografia temática e métodos de intervalo de classes adequados, facilitam a compreensão de diferenças, semelhanças e, portanto, possibilitam a visualização de correlações entre as variáveis e comparações visuais dos diversos períodos de tempo, mostrando os indícios de como se comporta a dinâmica da água no solo nesta região. O estudo pôde mostrar como os mapas temáticos elaborados com os dados de sensores remotos compilados, podem apresentar visualmente as áreas que possivelmente necessitam de menos irrigação artificial, já que ao longo dos anos pode-se observar quais áreas conservam a umidade por mais tempo ao longo do perfil do solo. Com essas informações, é possível planejar, por exemplo, o tipo de cultivo em áreas de baixo regime pluviométrico e incentivar cultivos que possuem mais resistência ao déficit hídrico, como por exemplo, a agricultura de sequeiro. Ainda neste contexto de benefícios destas informações na forma de mapas, é possível localizar as áreas que retêm mais umidade ao longo do perfil do solo e do tempo. Uma das limitações encontradas no trabalho, para é a baixa resolução espacial dos dados, o que dificulta a visualização e definição de áreas menores que apresentam mais umidade ao longo do tempo e do perfil do solo. Para soluções mais precisas e de alta resolução com sensores pontuais ainda se tem um custo

financeiro alto. Outra dificuldade encontrada é a resolução temporal, visto que é mais proveitoso uma resposta mais rápida das condições de umidade do solo ao estar observando as respostas da água presente ao longo do perfil do solo.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto, Umidade do Solo, Sistema de Informação Geográfica, Região Nordeste Brasileira.

ABSTRACT

One of the decisive factors for the success of an agricultural crop is the availability of water for the plants in the right amount according to the water needs of the cultivar, especially in places with low and uneven rainfall and low investment in artificial irrigation, as in most of the Brazilian northeast region. Thus, knowledge of the characteristics of areas that can be used for agricultural purposes can help in choosing the crop to be implanted, providing evidence of better adaptation of the plant to the natural conditions existing in the region. This work aims to analyze the behavior of soil moisture at different depths in the Northeast Region of Brazil from orbital data from remote sensing and geoprocessing techniques for the period 2017 to 2021, cartographically compiled from NASA's Giovanni Web Platform. The study carried out involved volume data accumulated in the soil every four months at depths from 40 cm to 200 cm from the surface. A graphical presentation through thematic maps, over the years 2017 to 2021, using the visual variables of thematic cartography and appropriate class interval methods, facilitate the understanding of differences, similarities and, therefore, enable the visualization of correlations between the variables and visual comparisons of the different time periods, showing the expressions of how the soil water dynamics behaves in this region. The study was able to show how the thematic maps elaborated with compiled remote sensor data can visually present the areas that possibly harbor less artificial irrigation, since over the years it can be observed which areas conserve moisture for longer over time. of the soil profile. With this information, it is possible to plan, for example, the type of cultivation in areas with low rainfall and encourage crops that are more resistant to water deficit, such as rainfed agriculture. Still in this context of the benefits of this information on the maps, it is possible to locate the areas that retain more moisture over the soil profile and time. One of the restricted areas in the work is the low spatial resolution of the data, which makes it difficult to visualize and define smaller areas that have more moisture over time and the soil profile. More accurate and high resolution solutions with point sensors still have a high financial cost. Another difficulty found is the temporal resolution, since a faster response of soil moisture conditions is more useful when observing the responses of water present along the soil profile.

Keywords: Remote Sensing, Soil Moisture, Geographic Information System, Northeast Region of Brazil.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	8
1.1.	OBJETIVOS.....	11
1.1.1.	Objetivo geral.....	11
1.1.2.	Objetivos específicos.....	11
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
2.1.	GEOPROCESSAMENTO.....	12
2.2.	SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA.....	12
2.3.	SENSORIAMENTO REMOTO.....	13
2.4.	UMIDADE DO SOLO.....	16
3.	METODOLOGIA	19
3.1.	ÁREA DE ESTUDO.....	20
3.2.	PESQUISA E COLETA DE DADOS.....	21
3.3.	MANIPULAÇÃO DOS DADOS E ELABORAÇÃO DE MAPAS TEMÁTICOS.....	24
3.4.	CLASSIFICAÇÃO DOS NÍVEIS DE INFORMAÇÕES.....	25
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	28
5.	CONCLUSÃO	37
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38

1. INTRODUÇÃO

Conhecer a dinâmica da água ao longo do perfil do solo tem se tornado importante para o cultivo agrícola. A disponibilidade de água para as plantas na quantidade correta e de acordo com a necessidade hídrica do tipo de cultivo, pode ser um dos fatores decisivos para o sucesso do cultivo, principalmente em locais com baixa e desuniforme pluviometria e baixo investimento em irrigação artificial, como na maioria da região Nordeste brasileiro. Para isso, o conhecimento prévio sobre a área a ser cultivada tem se mostrado bastante promissor para a agricultura. Esse conhecimento prévio tem sido adquirido através de técnicas de Sensoriamento Remoto.

O Sensoriamento Remoto apresenta uma ferramenta importante neste estudo e demais estudos de umidade do solo. Segundo (Silva *et al.*, 2015), a umidade do perfil do solo é um fator significativo no controle do vigor das plantas, mas a sua medida para grandes áreas e com frequência temporal é difícil, portanto, torna-se atraente o uso de dados de sensores remotos.

Faz parte do semiárido brasileiro grande parte da área dos estados da região do Nordeste (Alagoas, Pernambuco, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Sergipe, Bahia, Piauí) e também o Norte de Minas Gerais (RAMALHO e GUERRA, 2018). Caracteriza-se por um grande período de escassez de chuva, vegetação tropical seca (caatinga), elevadas temperaturas que resultam em altas taxas de evaporação dos corpos hídricos e da umidade do solo (ANDRADE, 2017).

A umidade do solo pode ser descrita pela fração de água que está num nível da superfície da terra onde há interação com a atmosfera através da evapotranspiração (KITE e PIETRONIRO, 1996). Há poucas informações sobre umidade de solo na região semiárida brasileira (BEZERRA *et al.*, 2011), mesmo sendo sua disponibilidade um dos principais fatores limitantes para os processos biológicos, ecológicos, hidrológicos e atmosféricos, além de caracterizar a desertificação de regiões semiáridas e áridas (ÁVILA *et al.*, 2010).

A umidade do solo pode ser medida através de métodos diretos ou indiretos. Os métodos diretos mais populares são: sonda de nêutron, Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR), tensiométricos, gravimétricos e higrométricos (GOMES, 2016). No entanto, essas técnicas tradicionais de medidas são pontuais, não

considerando a variabilidade espacial e temporal típica desse parâmetro, são complexas, onerosas e difíceis de serem aplicadas em um estudo regional (MAFFRA e CENTENO, 2016). Além disso, as variações locais do relevo, das propriedades do solo e da cobertura vegetal dificultam bastante a obtenção pontual dessa medida (HEMAKUMARA et al., 2007).

Diante desse entrave, o sensoriamento remoto, técnica de obtenção indireta, aparece como solução, proporcionando uma análise e monitoramento em larga escala, minimizando custo e tempo na aquisição de dados. Portanto, o objetivo deste trabalho é analisar o comportamento da umidade de solo em diferentes profundidades na Região Nordeste do Brasil utilizando dados orbitais compilados, disponibilizados gratuitamente na internet. Estes conjunto de dados agregam informações sobre umidade do solo em diferentes profundidades e numa vasta área, em toda Região Nordeste brasileiro. Contudo ainda há limitações quanto à resolução espacial e temporal como se pôde constatar ao longo do desenvolvimento do trabalho.

O uso de informações e dados geoespaciais, disponibilizados em plataformas web têm facilitado a coleta e interpretação de dados sobre a superfície terrestre, como a Plataforma Web Giovanni da NASA, que disponibiliza, de forma gratuita, os dados imageados de das missões espaciais, permitindo assim aos pesquisadores explorar dados rapidamente, de modo que a variabilidade espaço-temporal, condições anômalas e padrões de interesse possam ser analisados direta e facilmente on-line antes de fazer o download opcional dos dados. Os formatos de download suportados incluem NetCDF, GeoTIFF, imagem PNG e KMZ (Liu e Acker, 2017). O Giovanni fornece acesso a vários conjuntos de dados de satélite, concentrados principalmente nas áreas de composição atmosférica, dinâmica atmosférica, precipitação global, hidrologia e irradiação solar (Liu e Acker, 2017).

A importância desse trabalho é conhecida quando fornece conhecimentos e ferramentas para tomada de decisões sobre áreas que podem estar inutilizadas ou subutilizadas, nesse caso na Região Nordeste brasileiro, no que diz respeito à utilização agrícola.

Diante de toda a problemática elencada, mostra-se que o conhecimento prévio sobre a área a ser cultivada pode ajudar na escolha da cultura a ser implantada, fornecendo indícios de melhor adaptação da planta às condições naturais existentes. Dessa maneira, o presente estudo tem como objetivo apresentar

uma análise de como a umidade no solo se comporta, em volume disponibilizado ao longo do perfil do solo desde 40 cm a 200 cm a partir da superfície, no período de 2017 a 2021, fornecendo indícios de como é a dinâmica da água no solo nesta região.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Geral

Analisar o comportamento da umidade de solo em diferentes profundidades na Região Nordeste do Brasil a partir de dados orbitais no período 2017 a 2021.

1.1.2 Específicos

- Realizar uma análise exploratória por meio de pesquisa em websites acadêmicos;
- Analisar a dinâmica espacial da umidade do solo a partir dos dados acumulados quadrimensalmente em diferentes níveis de profundidade do solo;
- Comparação dos dados de umidade para os anos estudados;
- Verificar por meios da análise visual comparativa a aplicabilidade dos produtos gerados.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Geoprocessamento

Diante da necessidade humana de conhecer, analisar, planejar e representar seu espaço geográfico, o geoprocessamento atua proporcionando acesso às informações de forma rápida e prática. Câmara *et al.* (2001) relatam que geoprocessamento é um conjunto de instrumentos necessário para obtenção, manipulação e armazenamento de dados georreferenciados que possibilita o planejamento e monitoramento das questões ligadas ao espaço físico geográfico por meio de arquivos digitais.

A definição de geoprocessamento de acordo com Rosa (2013) é descrito como um conjunto de tecnologias destinadas à coleta e tratamento de informações espaciais, podendo ser aplicado por profissionais que trabalham com cartografia digital, sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica, possibilitando, por exemplo, o planejamento e ordenamento territorial, como o planejamento urbano de uma cidade, o planejamento ambiental, o controle e o monitoramento do desmatamento na Amazônia.

Fonseca (2013) acredita que o geoprocessamento nos dias atuais vem a ser um grande aliado das tomadas de decisões do homem, fazendo com que as melhores decisões sejam tomadas de forma coerente e com um melhor nível de segurança, pois esta ferramenta vem a dar uma maior padronização dos mapas, das áreas estudadas, podendo ainda dar uma resposta da qualidade de vida e desenvolvimento econômico, além dos impactos ambientais existentes.

2.2. Sistema de Informação Geográfica

Fitz (2008) conceitua SIG como um sistema constituído por um conjunto de programa computacional, o qual integra dados, equipamentos e pessoas com o objetivo de coletar, armazenar, recuperar, manipular, visualizar e analisar os dados espacialmente referenciados ao sistema de coordenadas conhecidos.

Wachholz *et al.* (2004) considera a utilização dos SIGs ideal para o acompanhamento da dinâmica da utilização das terras e para a análise espacial dos

objetos ao longo do tempo. Um SIG pode ser uma ferramenta que auxilia o gestor de uma determinada área agrícola, fornecendo informações multivariadas sobre uma porção do terreno ou toda a sua extensão. Por exemplo, pode ser importante para o gestor saber a quantidade de água presente no solo durante o momento de aplicação da irrigação, tendo como resultado economia de água, visto que possibilita o conhecimento da quantidade de água ao longo do perfil do solo, e conseqüentemente a economia de energia ao desligar a irrigação artificial no momento certo.

De acordo com (Teixeira *et al.*, 2018), o QGIS é um software de Sistema de Informação Geográfica (SIG) livre e gratuito, disponível em múltiplas plataformas (Windows, Mac e Linux), apresenta versão em português. Funciona de modo intuitivo, possibilitando ao usuário visualizar, tratar e analisar dados geoespaciais, confeccionar mapas a partir de camadas vetoriais e/ou raster, instalar plugins adicionais.

Sobre a confecção de mapas, de acordo com (Teixeira, *et al.*, 2018), os mapas temáticos são importantes elementos de comunicação visual e apresentam conjunto de signos imersos de significados que representam a realidade.

Para Menezes *et al.* (2013), a Cartografia Temática é uma cartografia que realiza o inventário, análise ou síntese dos fenômenos físicos ou humanos. Não tem limitação, pois pode representar qualquer fenômeno que tenha uma distribuição espacial. Assim, tanto fenômenos físicos como humanos, que sejam distribuídos sobre a superfície terrestre, são passíveis de serem visualizados.

Oliveira (2004) considera que um mapa é uma forma de comunicação. Ele conjuga as propriedades da linguagem visual, expressa na imagem formada pelo arranjo de tonalidades, cores, formas e texturas, com a linguagem sonora (escrita), presente no título, na legenda, na toponímia (os nomes dos lugares ou objetos) e em outras partes do mapa.

2.3. Sensoriamento Remoto

O sensoriamento remoto é definido como uma técnica que busca a obtenção de informação do objeto sem que haja a necessidade da proximidade física entre o fenômeno/objeto estudado e o coletor dessas informações (MENESES *et al.*, 2012). Esta técnica engloba a detecção, aquisição e análise da energia eletromagnética

emitida ou refletida pelos objetos terrestres registrada por sensores remotos acoplados em satélites, possibilitando a geração de imagens (NICÁCIO, 2008; FLORENZANO, 2002).

Segundo (JUCÁ, 2021), o sensoriamento remoto é uma opção viável para obtenção de dados de umidade do solo em larga escala, visto que os dados gerados por satélite possuem grande abrangência espacial e tem frequência temporal satisfatória.

Há dois tipos de sensores, os passivos e os ativos. Os passivos precisam de uma fonte de iluminação natural (energia solar) ou artificial (lâmpada) que possibilite a captura da energia refletida dos alvos em forma de ondas eletromagnéticas (MEIRELES, 2007). Os sensores ativos possuem uma fonte própria de iluminação, permitindo o imageamento do alvo desejado (OLIVEIRA, 2010).

De maneira geral, a maior sensibilidade à umidade do solo é observada quando o monitoramento do parâmetro é realizado a partir de radiômetros de micro-ondas que operam na banda L (21 cm, 1,4 GHz) (KERR *et al.*, 2001), sensor ativo. Por esse motivo, missões dedicadas ao monitoramento da umidade do solo são munidas de radiômetros operantes nessa banda, tais como os satélites Soil Moisture and Ocean Salinity (SMOS) e Soil Moisture Active and Passive (SMAP) (DE JEU *et al.*, 2014; KERR, 2007).

Imagens advindas de sensores possuem alguns parâmetros importantes que podem definir sua escolha, são:

Resolução espectral: é definida pelo número de bandas espectrais de um sistema sensor e pela largura do intervalo de comprimento de onda coberto por cada banda. Quanto maior o número de bandas e menor a largura do intervalo, maior é a capacidade do sistema sensor discernir as variações no comportamento espectral do alvo (PEREIRA, 1997).

Resolução espacial: relacionada com a capacidade do sensor distinguir e medir os alvos na superfície terrestre, ou seja, quanto maior a resolução, menor são os detalhes do objeto (FLORENZANO, 2002).

Resolução radiométrica: está associada à sensibilidade do sistema sensor em distinguir níveis de cinza, e quanto maior o número desses níveis, maior será a resolução (LOURENÇO, 2010).

Resolução temporal: está relacionada à frequência de passagem do sensor num mesmo local em um determinado intervalo de tempo (PEREIRA, 1997).

De acordo com Maffra *et al.* (2019), apesar do Sensoriamento Remoto oferecer vantagens importantes para a estimativa de umidade do solo, o sensor ideal para esta finalidade ainda não foi produzido. Este deveria possuir alta resolução temporal (recobrimento diário); espacial (inferior a 5m) e espectral (com comprimentos de onda desde o infravermelho até as microondas), pois as características da umidade mudam em períodos curtos e localmente, além disso, as imagens deveriam poder ser obtidas a baixo custo, o que limita o número de opções.

De acordo com (McNally, A. *et al.*, 2017), usando precipitação e outros dados meteorológicos (temperatura, umidade, radiação e vento), a Famine Early Warning Systems Network (FEWS NET), Rede de Sistemas de Alerta Antecipado para a Fome, e o Land Data Assimilation System (FLDAS), Sistema de Assimilação de Dados Terrestres, produzem multi-modelos de condições hidroclimáticas como umidade do solo, evapotranspiração e escoamento. O sistema FLDAS foi criado a partir de um Programa de Ciências Aplicadas da NASA para Recursos Hídricos e uma colaboração entre o Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS - United States Geological Survey), Centro de Observação e Ciência dos Recursos Terrestres (EROS - Resources Observation and Science Center), Centro de Voos Espaciais Goddard (NASA Goddard Space Flight Center) e a Universidade da Califórnia Santa Barbara (UCSB) através do Grupo de Riscos Climáticos (Climate Hazards Group (CHG)). As variáveis FLDAS são relevantes para a agricultura e monitoramento de recursos hídricos e são usados para produzir índices, como porcentagem de umidade do solo, que mostram como os extremos hidrológicos atuais se comparam às condições observadas nos últimos 30 anos.

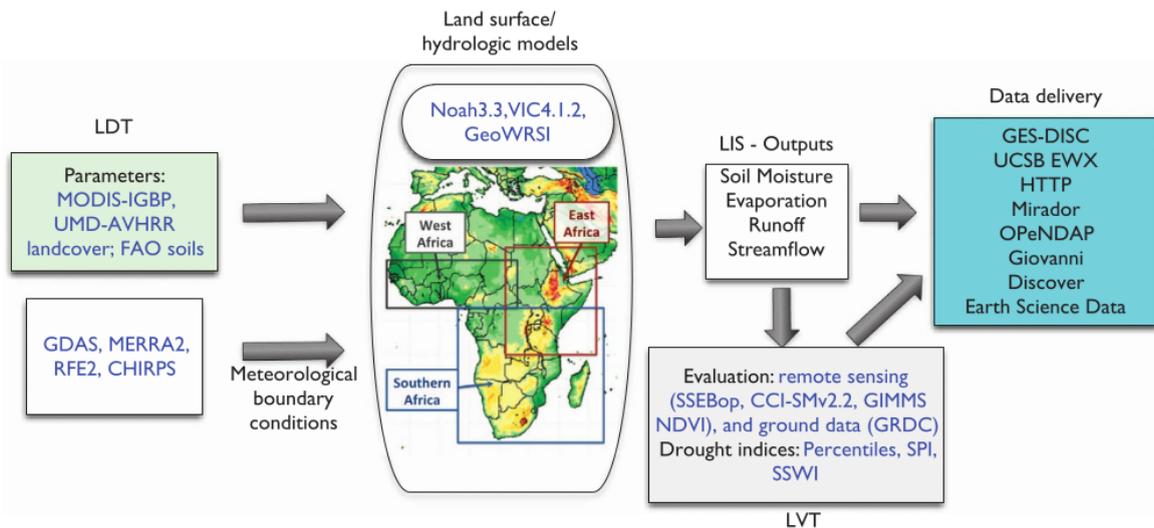
Os dados do FLDAS podem ser visualizados usando a ferramenta online Giovanni ou baixados do NASA - Goddard Earth Sciences Data and Information Service Center (GES DISC).

O Giovanni é um acrônimo da GES-DISC, é uma interface da Web que permite aos usuários visualizar e analisar os dados em grade da NASA de várias observações de satélite e de superfície. Giovanni permite que os pesquisadores examinem dados sobre química atmosférica, temperatura atmosférica, vapor d'água e nuvens, aerossóis atmosféricos, precipitação, clorofila oceânica e temperatura da superfície. Os dados primários consistem em conjuntos de dados em grade globais com resolução espacial reduzida. As funções analíticas básicas executadas por

Giovanni são executadas pelo Sistema de Análise e Exibição de Grade ou Grid Analysis and Display System (GrADS). (JAMALI *et al.*, 2022).

De acordo com (McNally, A. *et al.*, 2017), o Kit de Ferramentas de Dados Terrestres (LDT - Land Data Tool Kit) é usado para pré-processar os parâmetros de cobertura de solo do FLDAS a partir da classificação IGBP (Programa Internacional Geosfera-Biosfera) e UMD, derivadas dos sensores MODIS e AVHRR, respectivamente. A figura 1 apresenta o esquema dos dados, conforme definido pelo autor. Se necessário para resolver equações de balanço de energia, o LDT transforma a precipitação diária de RFE2 e CHIRPS em entradas subdiárias para os modelos de superfície terrestre. As entradas de dados meteorológicos adicionais são oriundos do GDAS e MERRA-2. FLDAS inclui os modelos Noah3.3, VIC4.1.2 e GeoWRSI, que são executados em três domínios na África e produzem estimativas de estados hidrológicos como umidade do solo (SM) e fluxos como escoamento superficial (RO), evapotranspiração (ET). Os resultados do modelo são usados como entradas para o Land Verification Toolkit (LVT) para avaliação ou geração de índices de seca.

Figura 1 - Esquema da Assimilação de Dados Terrestres da Rede de Sistemas de Alerta Prévio contra Fome (FEWS NET) Sistema (FLDAS).



Fonte: McNally, A. *et al.* (2017).

2.4. Umidade do solo

A umidade do solo é uma componente primordial em diversos processos que ocorrem no planeta terra, influenciando os ciclos de água, energia e nutrientes, podendo ser definida como uma quantidade de água armazenada, na condição não saturada, em uma determinada porção de solo (COSTA, 2017).

A umidade do solo é um dos principais fatores nos processos hidrológicos de uma bacia hidrográfica, principalmente na separação entre as parcelas de precipitação que infiltra e escoam superficialmente (NASCIMENTO, 2002).

Para Esch *et al.* (2018) a umidade do solo não só influencia diretamente nos processos hidrológicos, como também na meteorologia da superfície terrestre, por isso ela é considerada como um dos principais processos de troca solo-vegetação-atmosfera, interferindo tanto no crescimento da planta quanto na produção da mesma.

Lopes *et al.* (2011) comentam que a umidade do solo tem grande efeito na magnitude da temperatura da superfície terrestre devido a sua marcante influência no armazenamento de energia térmica. Além disso, ela possui uma alta variabilidade espaço-temporal por causa de fatores como: textura do solo, tempo, vegetação e topografia (DOS SANTOS *et al.*, 2011).

O monitoramento da umidade do solo pode ser obtido através das seguintes técnicas, de acordo com Schollaert (2019):

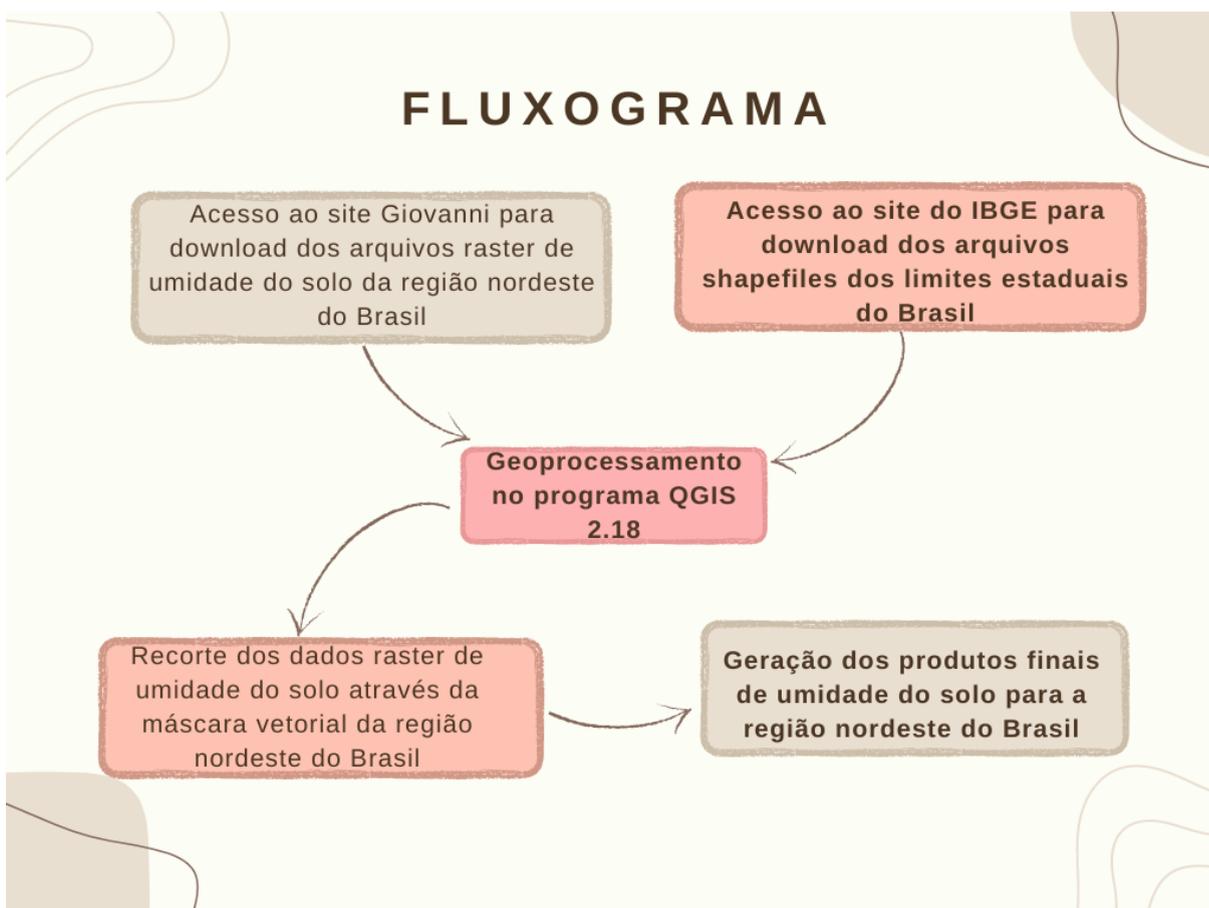
- (1) Monitoramento terrestre usando sensores em campo: possuem alta precisão, mas com cobertura espacial limitada, pois fornecem dados de forma pontual, limitando a uma pequena área ao redor do sensor em campo;
- (2) Estimativa de umidade de solo baseada em satélite usando modelagem de transferência radioativa: essa técnica gera conjuntos de dados globais confiáveis com precisão típica de $0,04\text{m}^3/\text{m}^3$. Possui representatividade apenas de 2 a 5cm do perfil do solo. A cobertura temporal é limitada ao tempo de vida operacional da missão. Vários sistemas baseados em ativos e passivos fornecem atualmente funções globais operacionais de todos os conjuntos de dados de umidade do solo, incluindo AMSR2, SMOS, SMAP e ASCAT.

- (3) Estimativa baseada em modelo usando balanço hídrico e energético: a abordagem baseada em modelo fornece dados com cobertura espacial. A confiabilidade da umidade do solo baseada em modelo é altamente suscetível à precisão da qualidade da precipitação. GLDAS, NLDAS e FLDAS gerados pelo sistema LDAS da NASA são exemplos de produtos de dados de umidade do solo baseados em modelos.
- (4) Monitoramento da umidade do solo usando técnicas de assimilação de dados: esses conjuntos de dados são gerados pela integração de dados aerotransportados ou observações de umidade do solo baseadas em dados de satélites em um modelo hidrológico, que melhora o desempenho do modelo e corrige imprecisões relacionadas à precipitação. Exemplos de tais conjuntos de dados são SMAP L4 Root-zone umidade do solo e NASA-USDA Global Soil Dados de umidade. Este último é operacionalmente usado pelo Departamento de Agricultura dos EUA-Foreign Serviço Agrícola (USDA-FAS) para avaliar o impacto da seca na produção agrícola e gerando as estatísticas de safra global da agência. Estes dados também são utilizados pelo Departamento de Agricultura dos EUA Serviço Nacional de Estatísticas Agrícolas (NASS) e o Grupo de Observações da Terra Agrícola Global Monitoramento (GEOGLAM).

3. METODOLOGIA

A metodologia utilizada para a condução do presente estudo foi detalhada na Figura 2.

Figura 2 - Fluxograma com as etapas do estudo.



Fonte: Autor (2022).

3.1. ÁREA DE ESTUDO

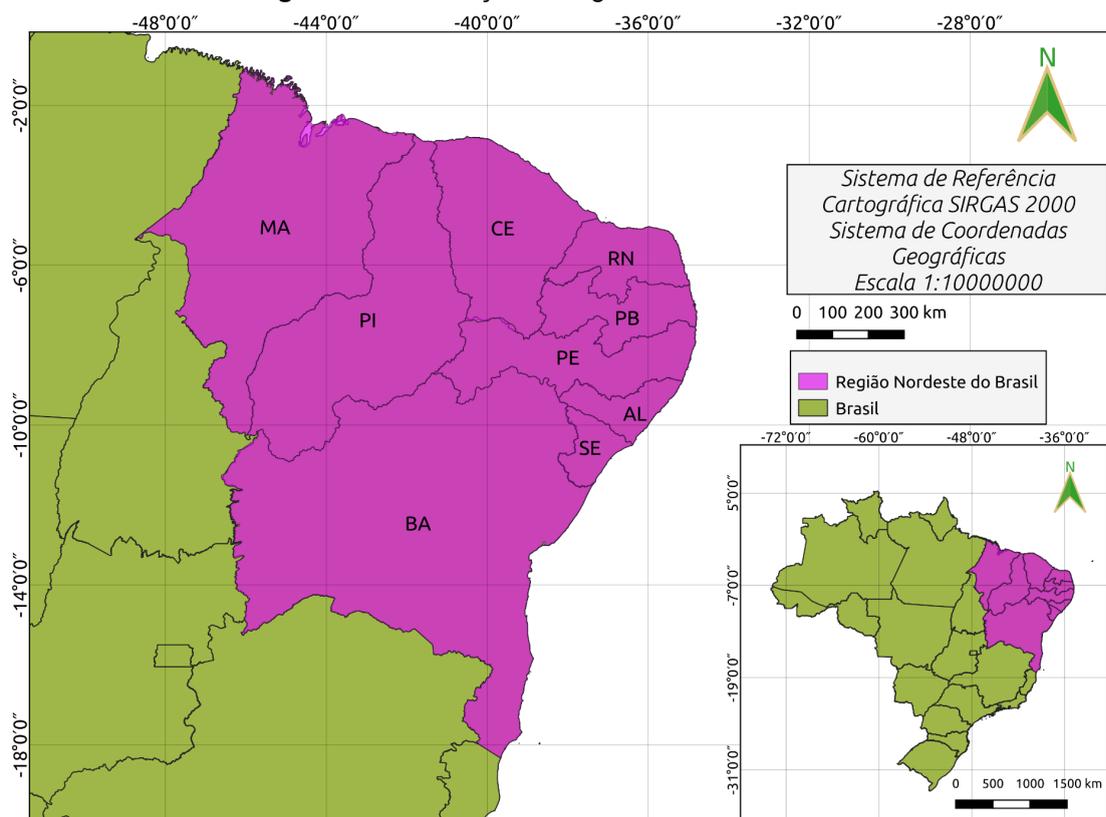
A área de estudo é a Região Nordeste do Brasil, Figura 3, que é formada por nove estados, subdivididos em 1.794 municípios. A população estimada, em julho de 2021, foi de 57.667.842 milhões de habitantes, o que representava aproximadamente 27% da população total do país, de acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021).

A economia da região nordeste é formada pelas atividades agropecuárias, industriais, turismo e comércio. Apresenta forte atividade no cultivo de cana-de-açúcar, mas também se faz presente no cultivo de feijão, milho, arroz, café, coco, algodão, mandioca, sisal, banana e castanhas. Maranhão, Piauí e Bahia são os principais estados responsáveis pela pecuária, com foco no rebanho de bovinos. Tecelagem e produção de calçados advindos de couro também são atividades presentes nos estados nordestinos (IBGE, 2021).

De acordo com a Embrapa (2014), na região nordeste é possível identificar três tipos de climas: tropical, semi árido e equatorial úmido. O primeiro possui elevadas temperaturas e duas estações bem definidas, sendo uma seca e uma chuvosa, os índices pluviométricos anuais oscilam entre 1.800 a 2.000 mm e temperaturas que variam entre 24°C e 26°C. O segundo possui temperaturas elevadas e chuvas irregulares, essa característica climática faz com que as áreas influenciadas sejam secas devido aos longos períodos de estiagem e no terceiro existe a predominância de uma grande umidade relativa do ar, além disso, demonstra elevadas temperaturas com chuvas regulares durante todo o ano .

Segundo a Embrapa (2014), os solos de maior abrangência nesta região são os Latossolos, os Argissolos, os Neossolos Quartzarênicos e Litólicos, os Planossolos e os Vertissolos.

Figura 3 - Localização da região nordeste no Brasil.



Fonte: Autor(2022).

3.2. Pesquisa e Coleta de Dados

Para a realização do objeto deste trabalho, foi necessário uma pesquisa e coleta de dados referente a dados de sensores que pudessem responder a informações de umidade do solo.

Conforme pesquisas realizadas em website acadêmicos, utilizou-se informações de dados estimados de umidade do solo, no site <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>, abordado no item 2.3 e, cuja Figura 4 apresenta a página web e as informações encontradas na pesquisa. Para acesso aos dados de interesse do estudo, deve ser informado a variável de interesse, o local geográfico (coordenadas geográficas), datas, tipo de plotagem, conforme apresentado na figura 4.

Figura 4 - Interface de seleção das variáveis de interesse, inserção do tipo de plotagem, data dos dados e região geográfica de interesse, a partir do Website Giovanni.

The screenshot shows the Giovanni website interface with the following details:

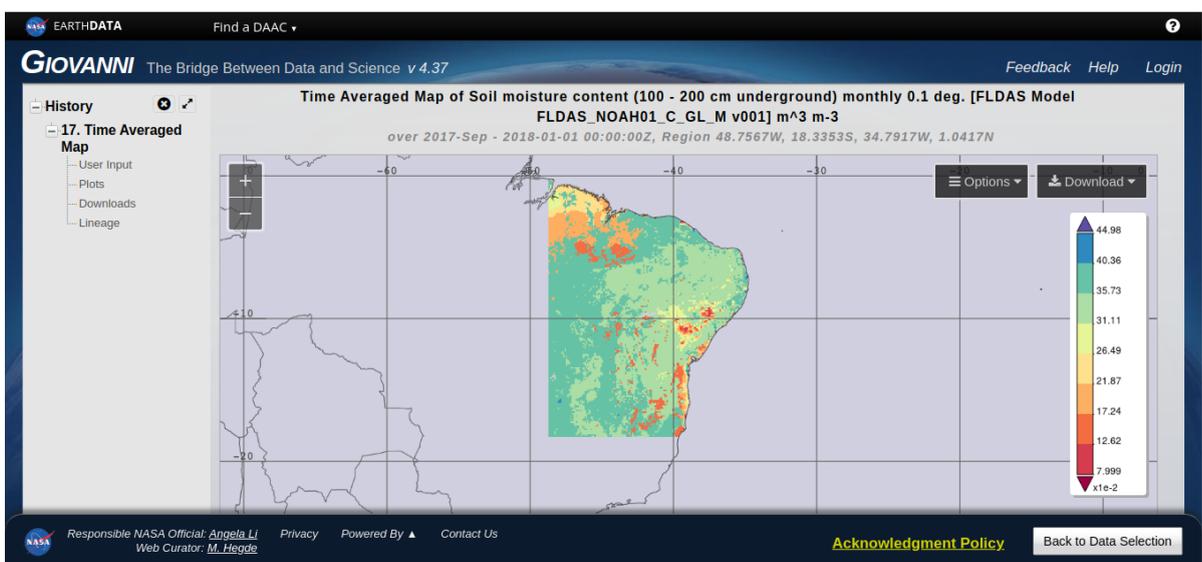
- Header:** NASA EARTHDATA, Find a DAAC, GIOVANNI The Bridge Between Data and Science v 4.37, Feedback Help Login
- Select Plot:** Time Averaged Map
- Select Date Range (UTC):** 2017-09-01 00:00 to 2017-12-31 23:59
- Select Region (Bounding Box or Shape):** -48.7567,-18.3353,-34.7917,1.0417
- Select Variables:**
 - Observations: Model (1260), Observation (751)
 - Disciplines: Aerosols (268), Atmospheric Chemistry (234), Atmospheric Dynamics (774), Cryosphere (18), Hydrology (646), Ocean Biology (56), Oceanography (81), Water and Energy Cycle (799)
 - Measurements, Platform / Instrument, Spatial Resolutions
- Number of matching Variables:** 0 of 2011, Total Variable(s) included in Plot: 2
- Table of Variables:**

Variable	Units	Source	Temp.Res.	Spat.Res.	Begin Date	End Date
Soil moisture content (40 - 100 cm underground) (FLDAS_NOAH01_C_GL_M_v001)	m ³ m ⁻³	FLDAS Model	Monthly	0.1 °	1982-01-01	2022-07-31
Soil moisture content (100 - 200 cm underground) (FLDAS_NOAH01_C_GL_M_v001)	m ³ m ⁻³	FLDAS Model	Monthly	0.1 °	1982-01-01	2022-07-31
- Footer:** Responsible NASA Official: Angela Li, Web Curator: M. Hegde, Reset, Plot Data, Go to Results

Fonte: Autor (2022).

Após a inserção dos dados de entrada para consulta, uma janela com um mapa do período consultado dos dados é disponibilizado, conforme Figura 5. No mapa, se apresentam os dados médios do período consultados referente a umidade do solo na profundidade de 100 a 200 centímetros a partir da superfície, numa relação de razão entre volume de água presente sobre volume de solo.

Figura 5 - Visualização do resultado da pesquisa de acordo com os dados de entrada, a partir do Website Giovanni



Fonte: Autor (2022).

Após realizada a conferência dos dados representando pelo mapa, pode-se realizar um download dos dados, selecionando o formato que se deseja baixar, por exemplo, formatos KMZ, TIF, PNG. Os formatos correspondentes a arquivos KMZ são muito parecidos com os ZIP. Eles permitem que você crie um pacote com vários arquivos, compactando o conteúdo para tornar o download mais rápido. Se você quiser, pode agrupar imagens no seu arquivo KML.

De acordo com (McNally, A. *et al.*, 2017), os dados de umidade do solo são estimados a partir do Modelo de Superfície Terrestre Noah, criado pela NASA Goddard Earth Science Data, com resolução espacial de 0,1°, com dados mensais. Gratuitamente é possível obter até 4 meses de dados acumulados de umidade de solo.

Nessa pesquisa, a metodologia do trabalho consiste inicialmente na coleta de dados quadrimestrais, formando 6 mapas para cada ano, sendo divididos, conforme tabela 1, que apresenta a tabulação dos dados do site Giovanni, contextualizado anteriormente. Os dados foram coletados e tabulados quadrimestralmente, seguindo uma ordem de janeiro a abril, maio a agosto e setembro a dezembro, nos anos de 2017 a 2021. Ainda na tabela 1, é informado a disponibilidade do tipo e o uso dos dados, representado por “X”. Com esses dados baixados, o próximo passo é a compilação e o tratamento das informações da região de estudo, para a elaboração de mapas temáticos de umidade e os cultivos agrícolas dos períodos de coleta.

Quadro 1 - Representação do esquema de download de dados do site Giovanni, com colunas quadrimestrais do respectivo ano, e profundidade no solo, e onde “X” representa a disponibilidade do mapa no trabalho atual.

	Período quadrimestral					
	Janeiro - Abril		Maio - Agosto		Setembro - Dezembro	
	profundidade		profundidade		profundidade	
Ano	40-100cm	100-200cm	40-100cm	100-200cm	40-100cm	100-200cm
2017	X	X	X	X	X	X
2018	X	X	X	X	X	X
2019	X	X	X	X	X	X
2020	X	X	X	X	X	X
2021	X	X	X	X	X	X

Fonte: Autor (2022).

3.3. Manipulação dos Dados e Elaboração de Mapas Temáticos

Para a elaboração dos mapas temáticos, foram utilizados os limites estaduais que estão disponíveis, em formato .kml, através do site <https://downloads.ibge.gov.br/>, na opção geociências. Nesta aba de geociências é possível fazer downloads de cartas imagem, imagens aéreas e orbitais, mapas, malhas, além de conteúdos da INDE, atlas e arquivos Google Earth, entre outros.

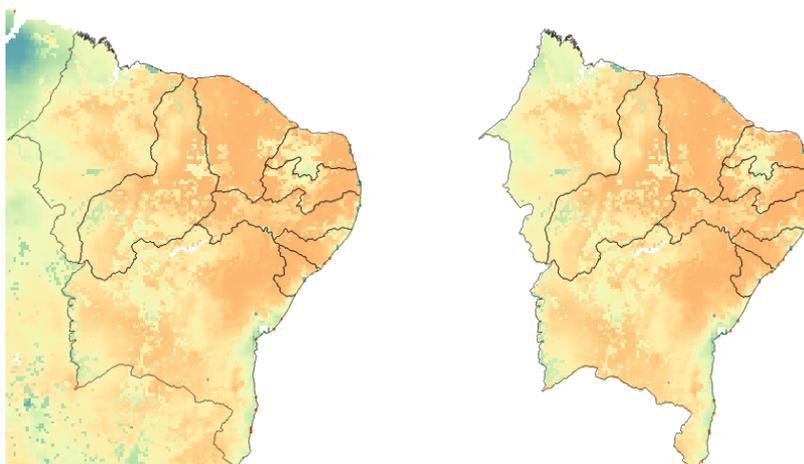
Para a manipulação e tabulação dos dados de umidade por conjunto de dados de profundidade e período de tempo, foi usado o programa QGIS 3.10, uma aplicação de Sistema de Informações Geográficas (SIG) gratuito e de código aberto que oferece suporte à visualização, edição e análise de dados geoespaciais. O SIG facilita a manipulação e análise de dados espaciais. Através deste foi possível realizar o recorte dos dados raster advindos do website Giovanni, usando como máscara os limites estaduais do nordeste baixados através do site do IBGE, área

Geociências. Também através do QGIS foi realizado o tratamento dos dados e a elaboração dos mapas temáticos. Como descrito no item 3.4.

3.4. Classificação dos níveis de informações

De posse dos dados, foi utilizado o QGIS para o carregamento das imagens dentro do ambiente do software. Para a manipulação das imagens foi necessário o recorte das imagens com uma máscara do limite dos estados do nordeste, utilizando a opção do QGIS Raster -> Extrair -> Recortar raster pela camada de máscara. Abaixo, a figura 6 exemplifica o procedimento:

Figura 6 - Exemplo do procedimento de extração a partir da camada de máscara. À esquerda imagem apenas carregada, e à direita, imagem após a extração, a partir do Software QGIS 2.18.



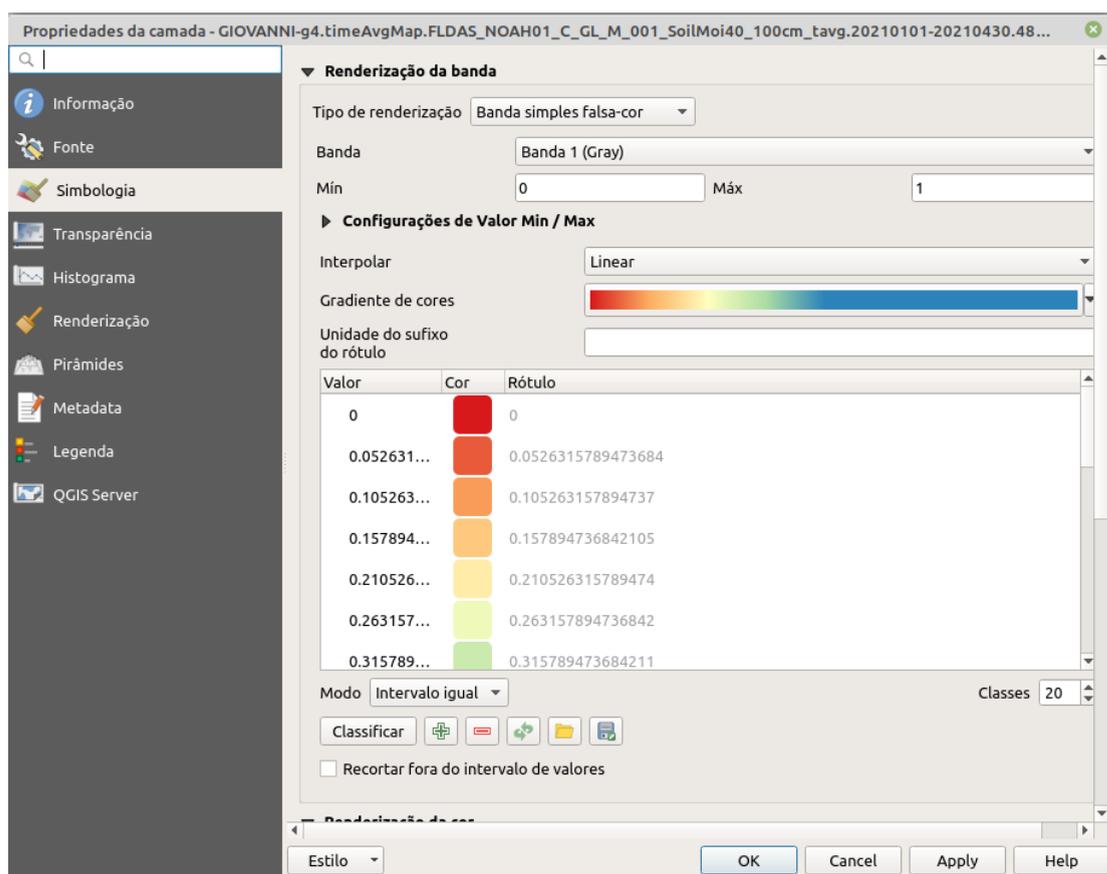
Fonte: Autor (2022).

A manipulação e tabulação dos dados, é um dos procedimentos metodológicos mais importantes do trabalho, já que inicialmente os dados brutos oriundos do site Giovanni não são visualmente interpretáveis quando carregados no QGIS, pois apresentam imagens como os pixels em tons de cinza, sendo necessário um tratamento gráfico usando conceitos e métodos da cartografia temática.

O processo base é o agrupamento e a classificação dos níveis de informações de humidade de forma que as informações tenham os mesmos intervalos de classes levando aos leitores um melhor entendimento das informações, bem como realizar análises comparativas visuais que podem rapidamente ser interpretadas. Para a classificação dos dados, levou-se em consideração o processo

de padronização dos dados pelo qual os valores das variáveis são “enquadrados” em uma faixa fixa de variação, como por exemplo, entre 0 e 1. A padronização permite a comparação e/ou combinação dos valores, uma vez que coloca todas grandezas observadas em intervalos iguais ou similares de variação (SAMPAIO, 2019). A padronização é especialmente útil em processos de síntese com análise multicritério (SAMPAIO, 2012) e, em outras situações em que se observa a necessidade de comparar ou combinar variáveis. No caso deste trabalho, foi adotada uma variação de 0 a 1 para os valores de pixels. E após a realização de uma variedade de testes, a que se mostrou um melhor resultado, foi o teste considerando 20 classes com intervalos iguais, conforme mostra a figura 7 que mostra a divisão realizada.

Figura 7 - Esquema da classificação das imagens, a partir do Software QGIS 2.18.



Fonte: Autor (2022).

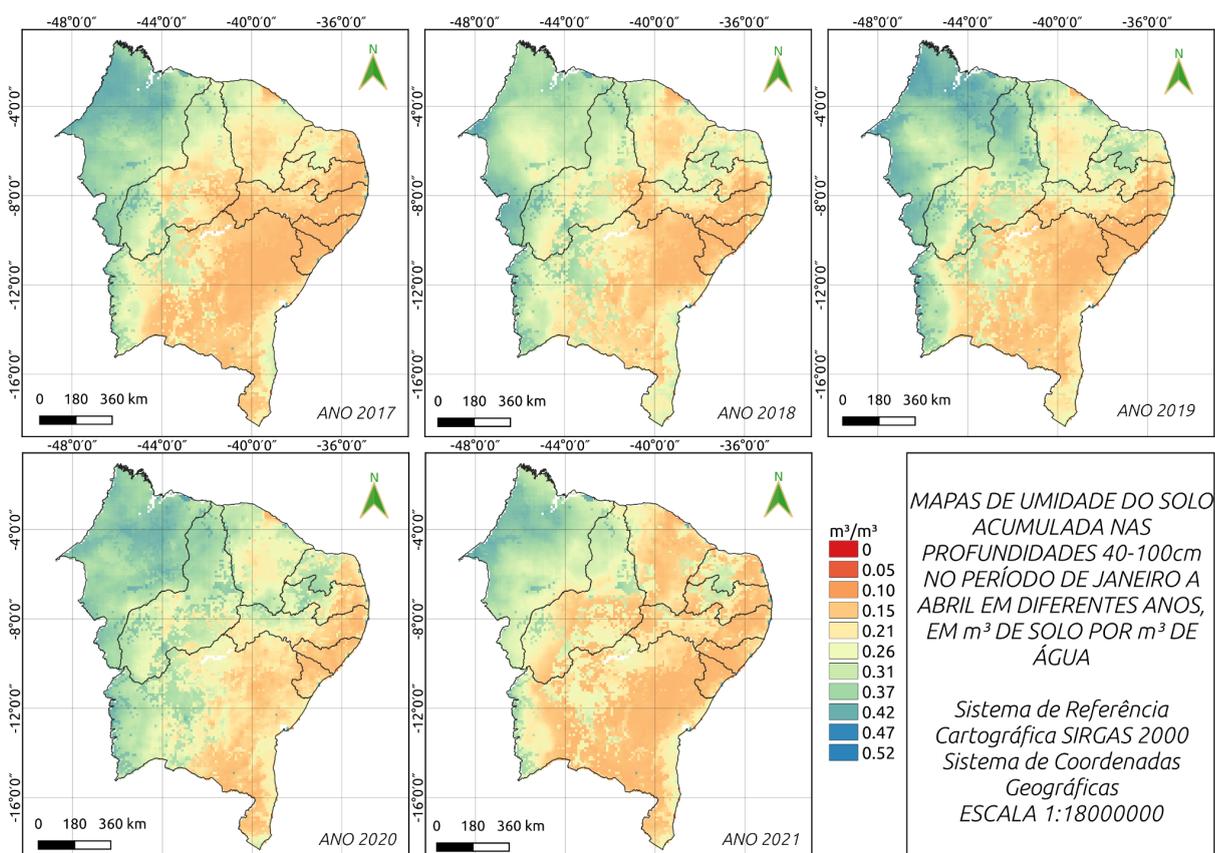
Um dos fatores primordiais do conjunto de mapas com a finalidade comparativa é equiparar o intervalo dos dados na legenda dos mapas. Esse procedimento é feito de forma rápida no QGIS, aplicando o mesmo estilo para todos os mapas gerados, uma vez que selecionado as classes e os intervalos de classes, é reproduzido os mesmos valores e classes para todos os outros mapas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir de uma análise visual do conjunto de mapas de 2017 a 2021, considerando a umidade de solo, percebe-se que na maioria dos anos as regiões a leste apresentaram umidade do solo entre 10% e 21%, níveis nos tons alaranjados, enquanto que regiões a oeste apresentam teor de umidade de solo mais acentuados em média acima de 37%.

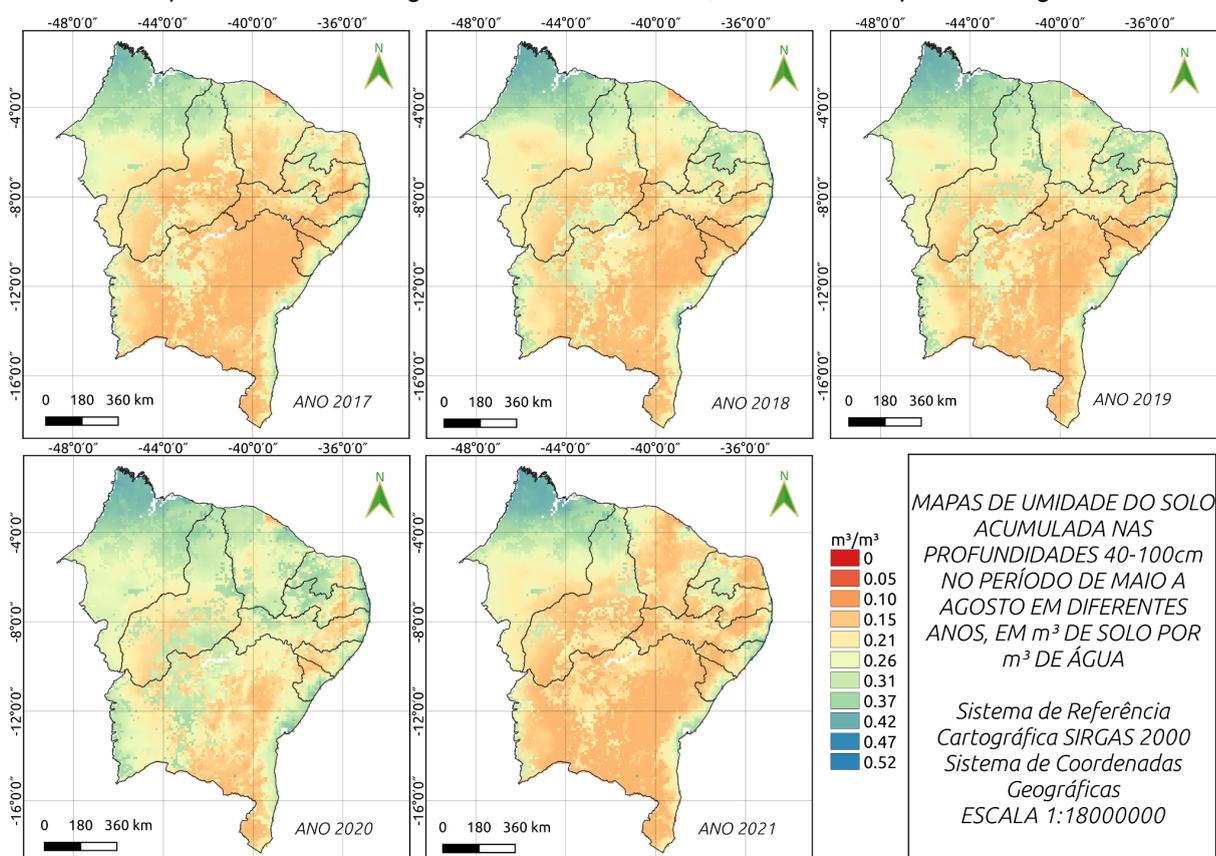
O estado do Maranhão, por exemplo, possui acentuados níveis de umidade do solo nos anos analisados, mostrando apenas em 2018 uma leve queda de valores de umidade. Sendo válido para todos os mapas, mesmo nas camadas mais superficiais de profundidade com valores de 40 a 100 cm.

Figura 8 - Conjunto de mapas de umidade do solo acumulada nas profundidades 40-100cm no período de janeiro a abril em diferentes anos, em m^3 de solo por m^3 de água.



Fonte: Autor (2022).

Figura 9 - Conjunto de mapas de umidade do solo acumulada nas profundidades 40-100cm no período de maio a agosto em diferentes anos, em m^3 de solo por m^3 de água.



Fonte: Autor (2022).

A partir da figura 9, percebe-se que no período de maio a agosto de todos os quadrimestres houve uma diminuição do teor de umidade do solo nas regiões mais a oeste. O estado do Maranhão, na sua parte mais a sul, apresentou diminuição no teor de umidade do solo (por volta de 26%). As demais regiões não alteraram significativamente seus teores de umidade do solo em relação ao primeiro quadrimestre de todos os anos analisados, se mantendo entre 15% e 21%.

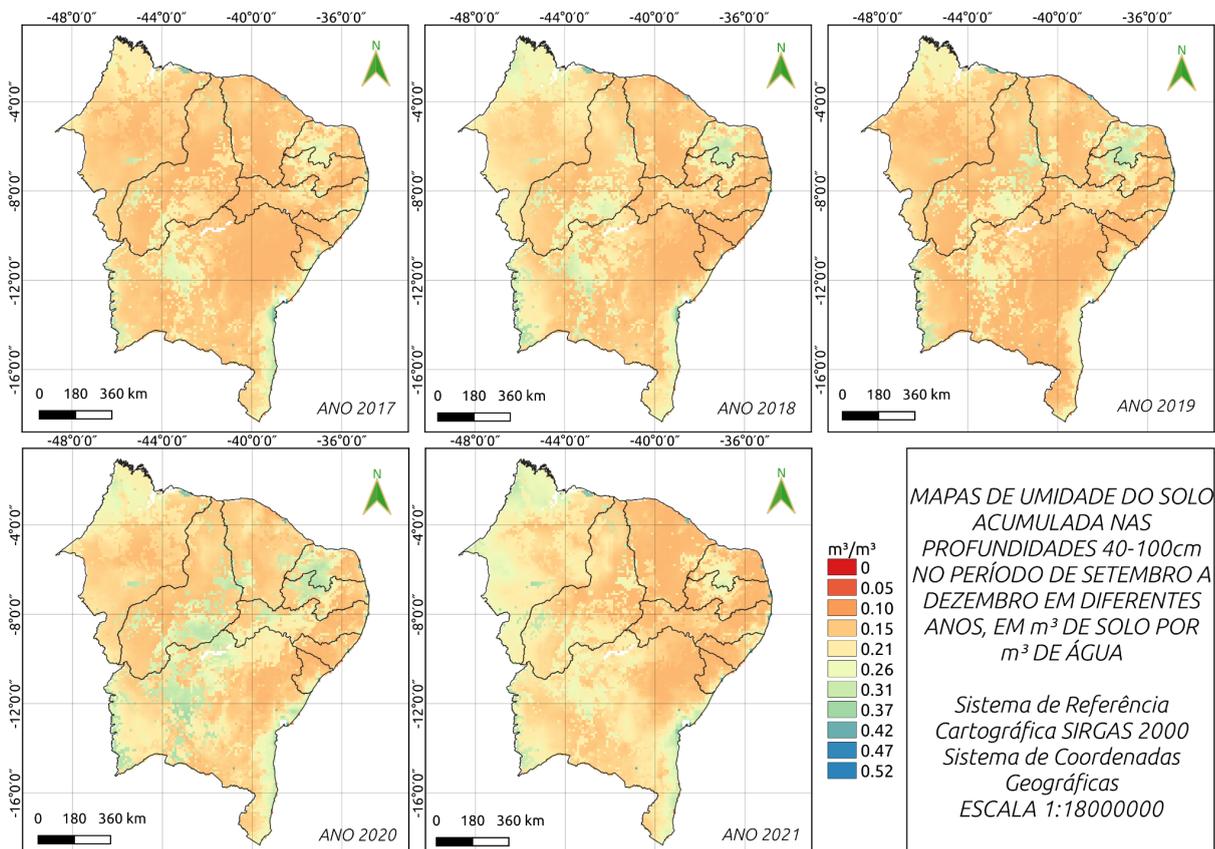
Os anos de 2017, 2018, 2019 e 2021 apresentaram a umidade do solo similar na maioria das regiões, por volta de 15%, enquanto que o ano de 2020 manteve o solo mais úmido, em torno de 26%.

Na figura 10, no último quadrimestre (setembro a dezembro) de todo os anos, notou-se que a maioria da região nordeste apresenta baixo teor de umidade do solo, em relação a outros primeiros quadrimestres (janeiro-abril e maio-agosto) analisados.

Analisando os mapas, pode-se perceber que somente no ano de 2020 houve uma pequena diferença na umidade em relação aos outros anos, apresentando uma

conservação maior da umidade nestas camadas do solo cujos valores de profundidades variam de 40 a 100cm.

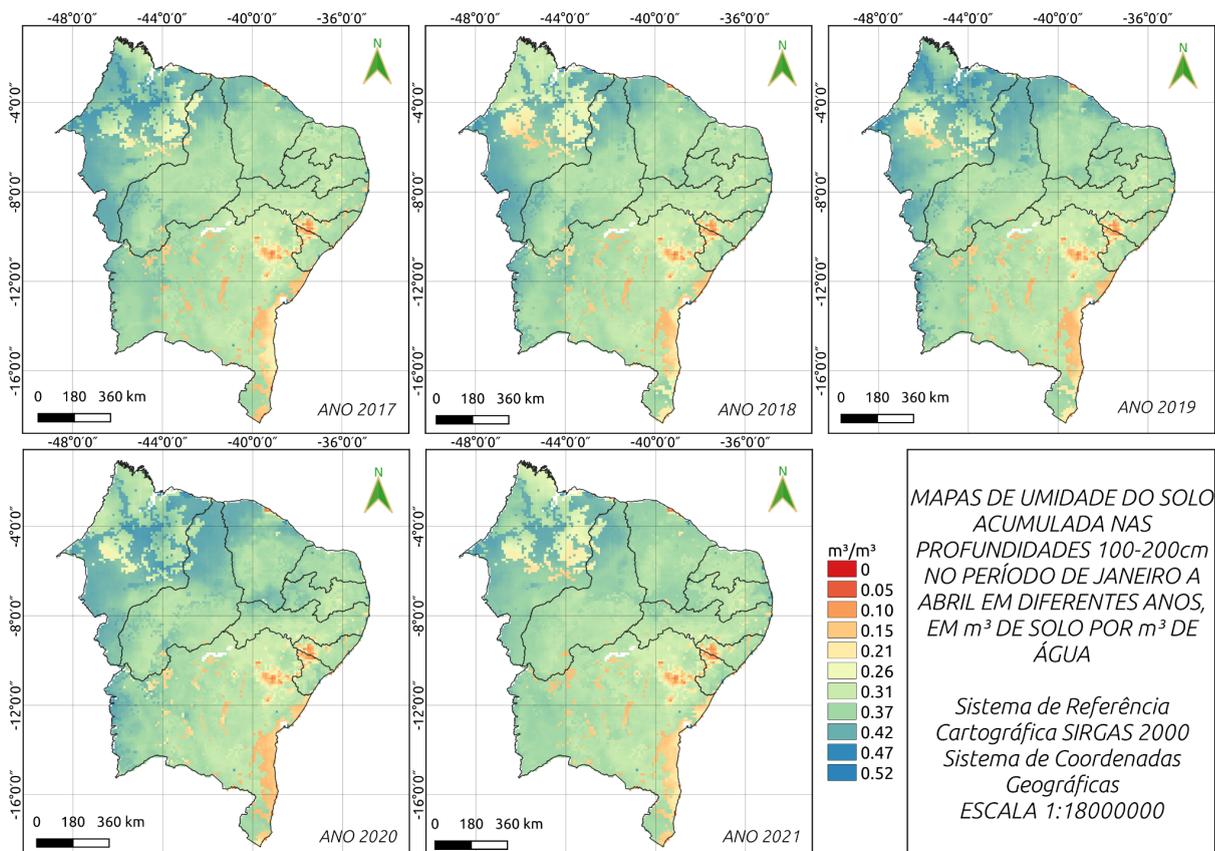
Figura 10 - Conjunto de mapas de umidade do solo acumulada nas profundidades 40-100cm no período de setembro a dezembro em diferentes anos, em m^3 de solo por m^3 de água.



Fonte: Autor (2022).

Conforme a Figura 11, são apresentados os resultados das camadas mais profundas do solo para o período de janeiro a abril. Esses resultados variam de 100 a 200 cm, nota-se que a maioria da Região Nordeste conserva a umidade entre 30% e 50%, no quadrimestre de janeiro a abril de todos os anos. Em boa parte da área do estado do Maranhão, a umidade do solo nessa profundidade (100-200 cm) manteve-se equivalente aos dados de profundidades mais superficiais de 40-100 cm, como pode ser observado na Figura 10.

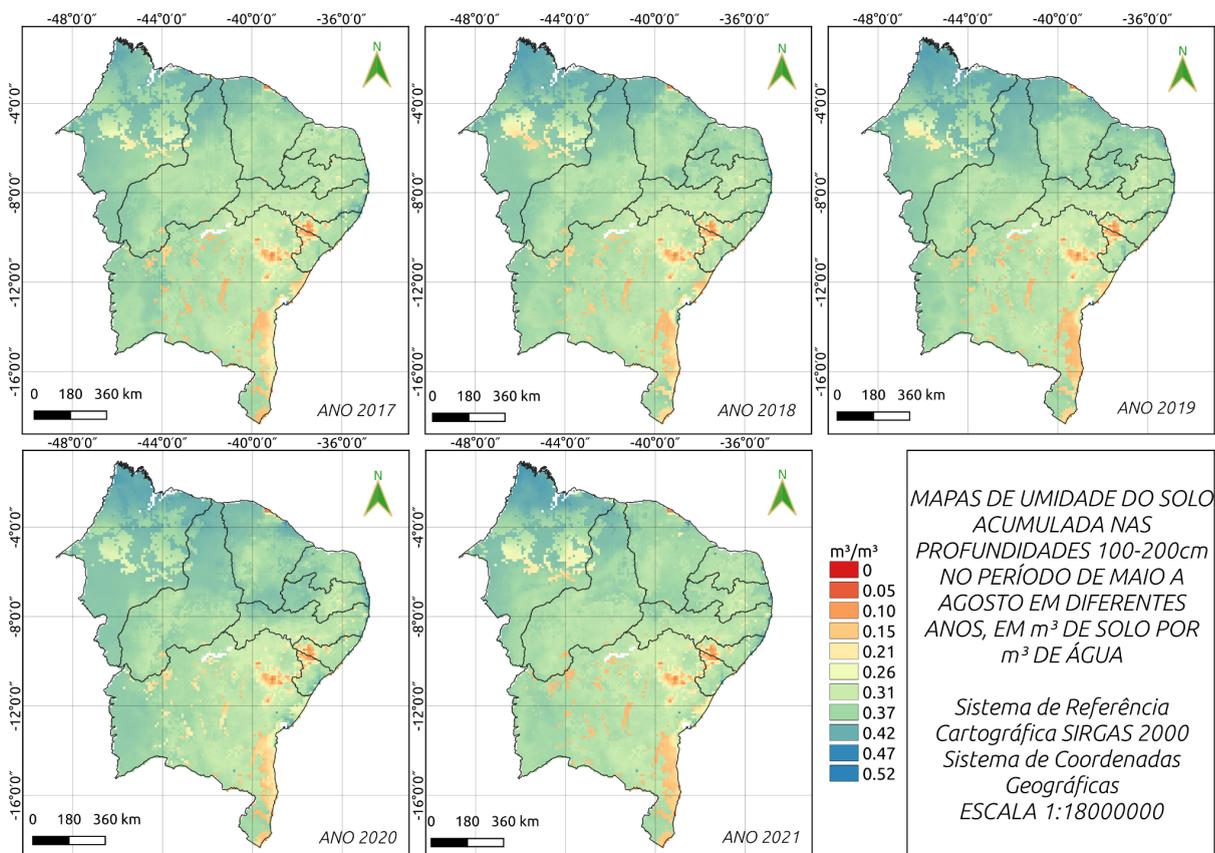
Figura 11 - Conjunto de mapas de umidade do solo acumulada nas profundidades de 100-200 cm no período de janeiro a abril em diferentes anos, em m^3 de solo por m^3 de água.



Fonte: Autor (2022).

É notado, a partir da Figura 12, que ao longo do quadrimestre maio-agosto, a umidade do solo manteve-se praticamente igual nessa profundidade de 100 a 200 cm com valores por volta de 37% na maioria da região, mostrando a baixa variação da umidade ao longo desta camada de profundidade. Através da figura 12, é possível observar que a porção litorânea sul do Estado da Bahia obteve a menor umidade do solo acumulado para o período de maio-agosto.

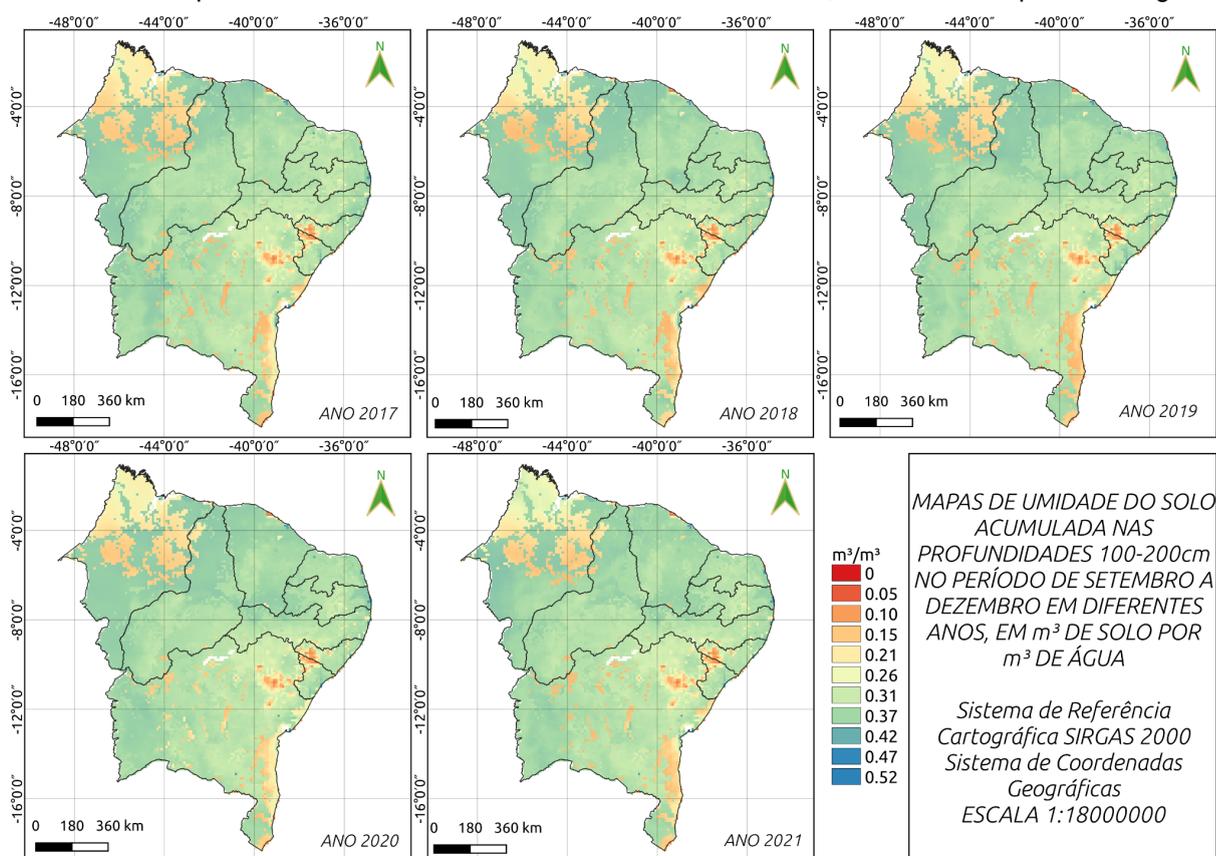
Figura 12 - Conjunto de mapas de umidade do solo acumulada nas profundidades de 100-200 cm no período de maio a agosto em diferentes anos, em m^3 de solo por m^3 de água.



Fonte: Autor (2022).

Na Figura 13 é apresentado os resultados de umidade do solo para o período de setembro a dezembro. É possível verificar que para todos os anos mapeados, possuem, ao longo dos valores de profundidade entre 100 a 200 cm, a mesma condição de umidade do solo para o período de setembro a dezembro nos diferentes anos. Ainda é possível observar baixa umidades em Estados como Maranhão e Bahia. É importante ressaltar que essas regiões possuem diferentes estações chuvosas em relação ao restante da Região Nordeste do Brasil.

Figura 13 - Conjunto de mapas de umidade do solo acumulada nas profundidades de 100-200 cm no período de setembro a dezembro em diferentes anos, em m^3 de solo por m^3 de água.



Fonte: Autor (2022).

A partir do conjunto de mapas gerados, tendo como a principal variável neste estudo a umidade de solo, é possível verificar as áreas propícias ao cultivo agrícola. Isso se dá através da identificação de áreas que possuem umidade ao longo do perfil do solo condizente com as zonas radiculares de culturas que apresentam tamanho por volta das profundidades apresentadas neste trabalho.

Outras possibilidades que podem ser constatadas é quanto aos benefícios dos mapas gerados, como o estudo de áreas que possivelmente necessitam de menos irrigação artificial, já que ao longo dos anos pode-se observar quais áreas conservam a umidade por mais tempo ao longo do perfil do solo. A agricultura de sequeiro, modalidade agrícola que busca eficiência no cultivo em áreas de baixo regime pluviométrico e cultivares que possuem mais resistência ao déficit hídrico. Além disso, é importante destacar que através dessas de informações de umidade do solo, pode beneficiar estudos relacionados à agricultura, pois é possível localizar áreas que retêm mais umidade ao longo do perfil do solo e do tempo.

O quadro 2 evidencia a quantificação de água presente em um metro cúbico de solo, em porcentagem, ao longo de toda a Região Nordeste, anualmente e em cada profundidade descrita. Esse quadro foi elaborado a partir dos valores de cada pixel das imagens baixadas através do site da NASA Giovanni, e nos fornece a quantificação dos valores de umidade do solo em média. A partir deste quadro pôde-se verificar a amplitude alcançada dos níveis de umidade do solo.

Quadro 2 - Análise estatística da umidade do solo em diferentes anos e profundidades do solo.

Profundidade: 40-100cm					
Período: Janeiro-Abril					
	2017	2018	2019	2020	2021
Média(%):	24,39	25,83	26,87	28,45	22,90
Desvio-padrão(%)	9,02	7,77	9,21	8,14	7,93
Profundidade: 40-100cm					
Período: Maió-Agosto					
	2017	2018	2019	2020	2021
Média(%):	21,97	23,17	24,07	26,81	21,14
Desvio-padrão(%)	7,28	7,27	7,52	6,71	7,45
Profundidade: 40-100cm					
Período: Setembro-Dezembro					
	2017	2018	2019	2020	2021
Média(%):	17,63	18,97	17,84	20,42	19,55
Desvio-padrão(%)	4,16	4,70	4,58	5,57	4,60

Quadro 2 - Análise estatística da umidade do solo em diferentes anos e profundidades do solo.

Profundidade: 100-200cm					
Período: Janeiro-Abril					
	2017	2018	2019	2020	2021
Média(%):	34,61	34,14	34,73	35,09	33,99
Desvio-padrão(%)	5,92	5,87	6,10	6,03	5,64
Profundidade: 100-200cm					
Período: Maio-Agosto					
	2017	2018	2019	2020	2021
Média(%):	34,41	34,61	34,73	35,35	34,19
Desvio-padrão(%)	5,33	5,56	5,70	5,22	5,51
Profundidade: 100-200cm					
Período: Setembro-Dezembro					
	2017	2018	2019	2020	2021
Média(%):	32,69	32,80	32,68	33,04	32,83
Desvio-padrão(%)	6,49	6,42	6,49	6,16	6,10

Ainda de acordo com os resultados do quadro 2, é possível observar os níveis de umidade que podem atingir determinada profundidade do solo na região e contribui para uma visão geral dos dados de todos os períodos dos anos estudados. Além disso, é possível auxiliar na percepção dos valores médios percentuais de umidade anual. Por exemplo, pode-se indicar um possível planejamento de quais cultivos são mais adaptativos para resistir a tais condições hídricas do solo com os dados de umidade e profundidade do solo atingida. De acordo com a altura do sistema radicular da planta ao longo do perfil do solo, pode-se conduzir a uma decisão de escolhas mais assertivas quanto ao grupo de plantas que melhor se adaptariam a tais condições.

Os resultados aqui apresentados corroboram com os encontrados por Teng *et al.* (2014), onde verificaram em como o portal NASA Giovanni pode facilitar as

intercomparações e outros usos dos produtos da umidade do solo no Estado do Texas, Estados Unidos da América. Os resultados obtidos por Teng *et al.* (2014), revelaram que o Portal NASA Giovanni pode proporcionar aos produtores, informações a respeito de como proceder a respeito da seca que ocorreu no Estado do Texas em 2011. Para Liu *et al.* (2020), o Portal Giovanni tem se tornado uma ferramenta de análise e visualização online sem a necessidade de baixar dados e software, favorecendo ao usuário uma importante ferramenta de análise de dados.

Na profundidade de 40 a 100 cm no período de janeiro a abril dos anos de 2017 a 2021, atingiu o máximo nível de umidade do solo de 28,45%, com desvio-padrão de 8,14% e mínimo de 22,90%, com desvio-padrão de 7,93%. Considerando então uma média desses valores de aproximadamente 25%.

Na profundidade de 40 a 100 cm no período de maio a agosto dos anos de 2017 a 2021, atingiu o máximo nível de umidade do solo de 26,81%, com desvio-padrão de 6,71% e mínimo de 21,14%, com desvio-padrão de 7,45%. Considerando então uma média desses valores de aproximadamente 24%. Na profundidade de 40 a 100 cm no período de setembro a dezembro dos anos de 2017 a 2021, atingiu o máximo nível de umidade do solo de 20,42%, com desvio-padrão de 5,57% e mínimo de 17,63%, com desvio-padrão de 4,16%. Considerando então uma média desses valores de aproximadamente 19%. Finalmente, para a profundidade de 40 a 100 cm, no período de 2017 a 2021, os valores de umidade do solo para os quadrimestres janeiro a abril, maio a agosto e setembro a dezembro, foram em média 25%, 24% e 19%, respectivamente. Esses resultados indicam quais percentuais de umidade do solo a região Nordeste do Brasil atinge normalmente.

Os níveis ideais de umidade do solo para as culturas depende das espécies vegetais específicas, mas a faixa para a maioria das culturas está entre 20% e 60% (CHERLINKA, 2022).

5. CONCLUSÃO

A análise exploratória dos dados possibilitou a obtenção de dados de umidade do solo na relação de volume de água por volume de solo nas profundidades de 40 cm a 200 cm a partir da superfície, conforme os resultados discutidos no item 4.

Um dos objetivos referentes à análise da dinâmica da água no solo na região proposta foi alcançado ao apresentar uma análise estatística, conforme quadro 2, evidenciando amplitudes da umidade do solo alcançadas, fornecendo indícios de como possivelmente a água se comporta ao estar presente nos solos daquela região, nas profundidades propostas.

Quanto à análise visual, quando comparados os mapas temáticos gerados conclui-se que o estudo realizado com as imagens representadas e compiladas por meio de conjuntos de mapas, comunicou visualmente a retenção de umidade para o período e profundidades disponíveis.

Apesar da informação trazida pela compilação das imagens e dos mapas de quais áreas retém mais umidade ao longo do tempo e do perfil do solo, o conjunto de imagens disponíveis utilizado no trabalho apresenta baixa resolução espacial, o que dificulta a adoção desta ferramenta para o manejo preciso de irrigação em áreas menores. Neste caso, é recomendado o uso de sensores pontuais com maior resolução, que geralmente são comercializados, gerando um custo financeiro. Outra dificuldade restritiva no trabalho é a resolução temporal, visto que é mais proveitoso uma resposta mais rápida das condições de umidade do solo ao estar observando as respostas da água presente ao longo do perfil do solo.

Como recomendação para trabalhos futuros, é que os estudos referentes ao uso e aplicação desta metodologia avancem utilizando outros tipos de dados com maior resolução espacial e temporal, sendo, desta forma poderia se aplicada para a integração de diferentes redes de monitoramento, usando uma só interface dinâmica para aperfeiçoar os recursos agrícolas para o Nordeste do Brasil.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, Eunice Maia. A floresta tropical seca, caatinga: as certezas e incertezas das águas. **TRIM: Revista de investigação multidisciplinar**, nº 12, pág. 11-20, 2017.

ÁVILA, L. F.; MELLO, C. R.; SILVA, A. M. Continuidade e distribuição espacial da umidade do solo em bacia hidrográfica da Serra da Mantiqueira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, UAEEA/UFPA, v.14, nº 12, pág. 1257–1266, 2010.

BEZERRA, Joel Medeiros *et al.* Utilização de geotecnologias na determinação de áreas susceptíveis a desertificação no Estado do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Natal, nº 3, pág. 543-561, 2011.

CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antonio M. V. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. INPE. São José dos Campos: SP, 2001.

COSTA, T. A. **Estimativa da umidade do solo na região semiárida do Brasil pelo método do triângulo universal**. Tese (doutorado em sensoriamento remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos, 2017.

CHERLINKA, Vasyi. Umidade do solo: nível ótimo e controle de déficit. *In*: **EOS Data Analytics**. Mountain View, EUA. 14 out. 2022. Disponível em: <https://eos.com/pt/blog/umidade-do-solo/#:~:text=A%20gama%20ideal%20de%20teor,entre%20%25%20e%2060%25>.

DE JEU, Richard *et al.* A spatially coherent global soil moisture product with improved temporal resolution. **Journal of Hydrology**, v. 516, p. 284-296, Ago. 2014.

DOS SANTOS, T. E. M.; MONTENEGRO, A. A.A.; SILVA, D. D. Umidade do solo no semiárido pernambucano usando-se Reflectometria no domínio do tempo (TDR). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental – Agriambi**, v. 15, n. 7, 2011.

ESCH, Sabrina *et al.* Soil moisture index from ERS-SAR and its application to the analysis of spatial patterns in agricultural areas. **Journal of Applied Remote Sensing**, v. 12, n.2, id. 022206, Abr. 2018.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 97 p.

FITZ, Paulo Roberto. **Geoprocessamento sem complicação**. Ed. 1, São Paulo, Oficina de Textos, 2008.

FONSECA, Fernanda; OLIVA, Jaime. **Cartografia**. Ed. 1, São Paulo, Editora Melhoramentos, 2013.

GOMES, I. C. **Desenvolvimento de um sensor digital de umidade do solo e unidade remota de monitoramento utilizando comunicação sem fio**. Trabalho de Conclusão de Curso de Bacharelado em Engenharia de Computação - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 57 f, 2016.

JAMALI, Ali *et al.* Modeling relationship between land surface temperature anomaly and environmental factors using GEE and Giovanni. **Journal of Environmental Management**, v. 302, Party A, p. 113970. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113970>.

JUCÁ, Marcella Vasconcelos Quintella. **Estimativa da umidade do solo em diferentes profundidades a partir do produto do satélite SOIL MOISTURE OCEAN SALINITY (SMOS) em Pernambuco utilizando um filtro exponencial**. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2021.

KERR, Yan *et al.* Soil moisture retrieval from space: the Soil Moisture and Ocean Salinity (SMOS) mission. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 39, n. 8, pp. 1729-1735, Ago. 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/36.942551>.

KERR, Yann. Soil moisture from space: Where are we? **Hydrogeology Journal**, v. 15, n. 1, p. 117–120, Set. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10040-006-0095-3>.

KITE, G.; PIETRONIRO, A. Remote Sensing application in hydrological modeling. **Hydrological Sciences Journal**, v. 41, n. 4. 1996.

LIU, Zhong *et al.* NASA global satellite and model data products and services for tropical meteorology and climatology. **Remote Sensing**, v. 12, n. 17, p. 2821, 2020.

LIU, Zhong; ACKER, James. Giovanni: A ponte entre dados e ciência. **Revista internacional Eos**, EUA, N° 98, Agosto/2017. Disponível em <https://doi.org/10.1029/2017EO079299>.

LOPES, P. M. O.; MOURA, G. S. S. Estudo de caso: índice de umidade do solo utilizando imagens do sensor modis para o município de Belém do São Francisco, PE. In: **I Workshop Internacional Sobre Água no Semiárido Brasileiro**. Anais, Campina Grande, 2013.

LOURENÇO, R. W. **Sensores e Satélites**. [Notas de Aula]. 2010. 46p.

MAFFRA, C. de Q. T.; CENTENO, J. da S. Estimativa da umidade do solo por meio de sensoriamento remoto e suas possíveis aplicações no estudo de deslizamentos de terra. **Revista Brasileira de Cartografia**, [S. l.], v. 68, n. 9, 2017. DOI: 10.14393/rbcv68n9-44438.

MARQUES, Flávio Adriano *et al.* **Solos do Nordeste**. Recife: Embrapa Solos, 2014.

MENEZES, Paulo Márcio Leal de; FERNANDES, Manoel do Couto. **Roteiro de Cartografia**. Ed.1, São Paulo, Oficina de Textos, 2013.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. UnB-CNPq. Brasília, 2012

MEIRELES, M. **Estimativa da Evapotranspiração real pelo emprego do algoritmo SEBAL e imagens landsat 5-TM na Bacia do Acaraú – CE**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade do Ceará, Fortaleza – CE. 89 f. 2007.

NASCIMENTO, Arlene Costa. **Avaliação da umidade no perfil do solo a partir de sensoriamento remoto**. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Brasília, Brasília, 2002.

NICÁCIO, R. M. **Evapotranspiração real e umidade do solo usando dados de sensores orbitais e a metodologia SEBAL na bacia do rio São Francisco**. Tese (doutorado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPE. Rio de Janeiro/RJ. 2008.

OLIVEIRA, Ivanilton José de. A linguagem dos mapas: utilizando a cartografia para comunicar. **Revista UNICIENCIA**. Goiás. 2004.

OLIVEIRA, K. A. **Classificação de imagens LANDSAT 5 para mapeamento do Cacaueiro Nativo (*Theobroma cação* L.), do Rio Purus – Amazonas**. 67 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Centro de Ciências Biológicas e da Natureza, Universidade Federal do Acre, AC, 2010.

PESSOA, Z. S.; TEIXEIRA, R. L. P.; CLEMENTINO, M. L. M. Interfaces entre Vulnerabilidades, Governanza, Innovación y Capacidad de Respuesta al COVID-19 en el Noreste del Brasil. **Ambiente & Sociedade**. São Paulo, v. 23, p. 1-13, 2020.

PEREIRA, Clarissa Cardoso *et al.* Análise da temperatura de superfície e do uso da terra e cobertura vegetal na bacia Barra dos Coqueiros (Goiás). **Revista Geonorte**, 2º ed., v. 2, n. 5, p. 1243-1255, 2012.

RAMALHO, M. F. J. L.; GUERRA, A. J. T. O risco climático da seca no semiárido brasileiro. **Territorium**, n. 25 (I), 2018: Riscos: processo e vulnerabilidades. Disponível em: https://impactum-journals.uc.pt/territorium/article/view/1647-7723_25-1_5/3889

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. 7 ed. Uberlândia: EDUFU, 2009. 262 p.

ROSA, R. **Introdução ao Geoprocessamento**. Uberlândia: UFU, 2013.

SAMPAIO, Tony. **Cartografia temática**. 1. ed. Curitiba: Programa de Pós-Graduação em Geografia - UFPR, 2018.

SCHOLLAERT, Stephanie. Earth Observations and Integrative Models in Support of Food and Water Security. **Remote Sensing in Earth Systems Sciences**, USA, vol. 1, nº 1, página 1-22, março/2019.

SILVA, Bruno Montoani *et al.* Uso do sensoriamento remoto para estimar a umidade do solo na zona radicular do cafeeiro. **XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, Natal, Vol. 1, p.1-4, Agosto/2015.

TEIXEIRA, Claudineia; OLIVEIRA, Elaine; PIMENTEL, Junívio. Software Qgis na produção de mapas temáticos para análise da microrregião de Boquira-BA. **Geopauta**, Volume 02, nº. 03, Setembro/2018.

TENG, William et al. NASA Giovanni: a Tool for visualizing, analyzing, and intercomparing soil moisture data. **Remote Sensing of the Terrestrial Water Cycle**, p. 331-346, 2014.

WACHHOLZ, Flávio; FILHO, Warterloo. Mapeamento do uso da terra na bacia hidrográfica do Arroio Barriga - RS, utilizando o sensoriamento remoto. In: **Jornada da Educação em Sensoriamento Remoto no âmbito do Mercosul**, 4.,2004, São Leopoldo. Anais. São Leopoldo, RS: Universidade Federal de Santa Maria, 2004.