

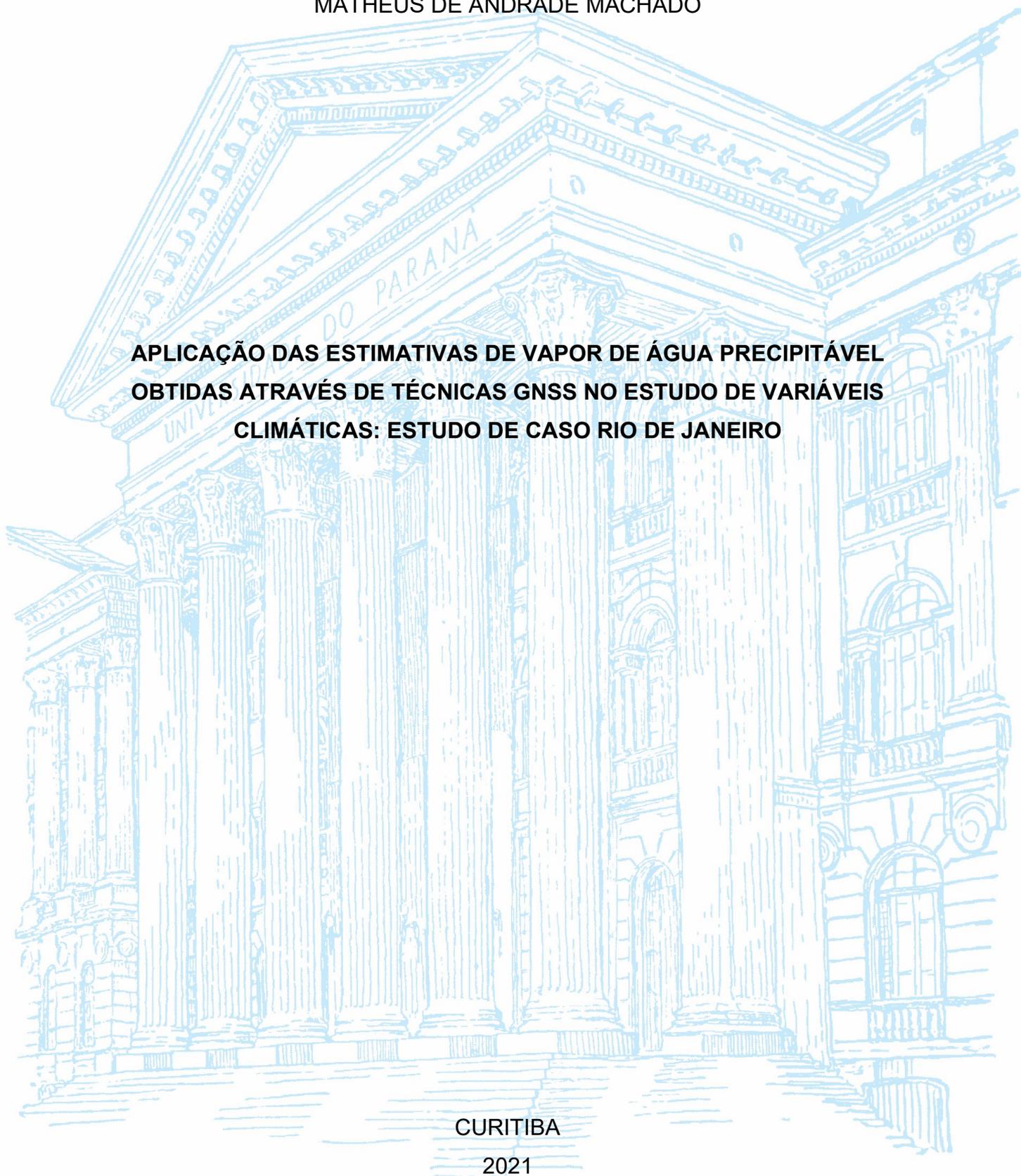
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MATHEUS DE ANDRADE MACHADO

**APLICAÇÃO DAS ESTIMATIVAS DE VAPOR DE ÁGUA PRECIPITÁVEL  
OBTIDAS ATRAVÉS DE TÉCNICAS GNSS NO ESTUDO DE VARIÁVEIS  
CLIMÁTICAS: ESTUDO DE CASO RIO DE JANEIRO**

CURITIBA

2021



MATHEUS DE ANDRADE MACHADO

**APLICAÇÃO DAS ESTIMATIVAS DE VAPOR DE ÁGUA PRECIPITÁVEL  
OBTIDAS ATRAVÉS DE TÉCNICAS GNSS NO ESTUDO DE VARIÁVEIS  
CLIMÁTICAS: ESTUDO DE CASO RIO DE JANEIRO**

Projeto Final apresentado ao curso Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Cartógrafo e Agrimensor.

Orientadora: Profa. Dra. Claudia Pereira Krueger.

Coorientador: Prof. M.e Christian Gonzalo Pilapanta Amagua.

CURITIBA

2021

## TERMO DE APROVAÇÃO

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente aos meus pais, Giselle e Edilson, por terem me proporcionado uma excelente educação e terem me guiado no caminho correto durante toda minha vida. Serei eternamente grato por toda experiência que me proporcionaram.

Agradeço à Universidade Federal do Paraná, uma instituição de caráter honroso e que me faz ter orgulho de dizer que tive a oportunidade de estudar e transitar em seu campus.

Aos amigos que fiz durante todo o curso, e aos amigos que me conheciam de momentos passados e seguiram comigo nessa jornada.

À minha família, que sempre foi apoiadora, acolhedora e prestativa, sem questionar ou hesitar quando precisei de auxílio.

Agradeço à Engenheira Cecília Parolim Ferraz, que me acompanhou não só durante todo o curso, mas especialmente durante a elaboração deste trabalho.

Por fim, agradeço aos professores da graduação, em especial à Professora Doutora Cláudia Krueger e também ao Mestre Christian Pilapanta, por me orientarem no caminho certo.

“O que fazemos com o nosso mundo, agora, se propagará através dos séculos e afetará poderosamente o destino de nossos descendentes”

Carl Sagan, 1980.

## RESUMO

O uso de medições através do método GNSS pode significar uma forma mais rápida, eficaz e de menor custo para estimar o vapor d'água na atmosfera e como se relaciona com o clima. É possível determinar maiores evidências acerca da variabilidade climática de uma região ao se empregar a determinação de grandezas climáticas através do PWV-GNSS, por exemplo, e compará-las com dados obtidos numa estação meteorológica. O presente estudo coletou amostras em um intervalo de tempo de 2 anos de dados de posicionamento GNSS da RBMC de três estações de monitoramento contínuo e cinco estações meteorológicas do INMET nas proximidades das estações GNSS, no estado do Rio de Janeiro. Buscou-se, portanto, realizar análises de tendência e de correlação para validar o comportamento dos dados, além de verificar se o vapor de água atmosférico está mais relacionado à temperatura ou à precipitação no local de estudo, se há uma tendência de variabilidade climática na região e no espaço de tempo estudado ou se a região se comporta de maneira homogênea, o quanto a distância entre estações de monitoramento de PWV estão das estações INMET pode influenciar nos resultados. Por fim, determinou-se que a região se mostrou homogênea e no curso prazo do estudo as variações climáticas foram dadas como sazonais e de causas naturais. E estudos mais abrangentes são encorajados para melhorar a modelagem do clima em uma região mais ampla, que permita detectar mudanças significativas quanto às variáveis climáticas estudadas no decorrer do projeto e modelar o ambiente físico precisamente.

Palavras-chave: Vapor de água atmosférico. GNSS. Clima. Variabilidade Climática.

## **ABSTRACT**

The use of GNSS positional data can be a faster, more efficient and less costly way of measuring water vapor in the atmosphere and how it relates with climate. It is possible to determine more accurate evidences about climate variability of a region through techniques like PWV-GNSS and compare them directly to data measured in a specific meteorology station. The present study used a sample of 2 years of data from RBMC of three GNSS stations and 5 INMET meteorology stations, in the state of Rio de Janeiro. The analysis came to be about tendency and correlation of the water vapor and temperature/precipitation data, witch of the INMET data is PWV more related to, if there is tendency to climate variability in the study region, if the region behaves homogenously and how much does the distance between RBMC and INMET stations can interfere in the studies. Results determined that the region is fairly homogenous, and climate variations observed were more related to natural climate cycles. The study encourages studies with more spaced-out data and for longer periods of time to determine proper climate variability and make more precise models of the environment.

Key-words: Atmospheric water vapour. GNSS. Weather. Climate variability.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: RBMC 2021:.....	7
Figura 2: Estações INMET no Brasil. ....	10
Figura 3: Variação da Precipitação ao longo do tempo.....	11
Figura 4: Mapa de Localização - Estações RBMC e INMET.....	15
Figura 5: a), b), c): Análise dos dados PWV-GNSS entre estações RBMC analisadas;.....	20
Figura 6: a), b), c): Análise de tendência sazonal (RBMC-RJNI - Niterói).....	23
Figura 7: a), b), c): Análise de tendência sazonal (RJVA - Valença).....	25
Figura 8: a), b), c): Análise de tendência sazonal (ONRJ – Forte de Copacabana). 26	
Figura 9: a), b), c): Análise de tendência sazonal (ONRJ - Jacarepaguá). ....	28
Figura 10: a), b), c): Análise de tendência sazonal (ONRJ – Vila Militar).....	29

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Coordenadas estação RBMC - ONRJ .....	13
Tabela 2: Coordenadas estação RBMC - RJNI.....	13
Tabela 3: Coordenadas estação RBMC - RJVA; .....	14
Tabela 4: Distâncias entre estações RBMC;.....	14
Tabela 5: Distâncias entre estações RBMC e estações INMET; .....	15
Tabela 6: Recorte de arquivo do PWV processado; .....	17
Tabela 7: Análise do PWV (mm) para cada estação RBMC; .....	21
Tabela 8: Indicadores Estatísticos (Estações INMET no período estudado).....	22
Tabela 9: Coeficiente de Correlação de Pearson para PWV-Temperatura e PWV- Precipitação. ....	30

## LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

RBMC - Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS.

GNSS - Sistema Global de Navegação por Satélites.

SIRGA - Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas.

INME - Instituto Nacional de Meteorologia.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

PWV - *Precipitable Water Vapour*.

IWV - *Integrated Water Vapour*.

INPE- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1 OBJETIVOS .....	2
1.1.1 OBJETIVO GERAL .....	2
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	2
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>4</b>
2.1 GNSS .....	4
2.1.1 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO .....	4
2.1.2 MODELAGEM TROPOSFÉRICA.....	5
2.1.3 RBMC.....	7
2.2 INMET .....	9
2.3 VARIABILIDADE CLIMÁTICA .....	10
<b>3 MATERIAS E MÉTODOS</b> .....	<b>12</b>
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	12
3.2 ESTAÇÕES RBMC E INMET UTILIZADAS .....	12
3.2.1 ESTIMATIVA DO PWV .....	16
3.2.2 DADOS DE TEMPERATURA E PRECIPITAÇÃO.....	17
3.3 ANÁLISES EMPREGADAS .....	18
3.3.1 Análise de Tendência.....	18
3.3.2 Coeficiente de Correlação de Pearson.....	18
<b>4 ANÁLISE E RESULTADOS</b> .....	<b>20</b>
4.1 ANÁLISE DOS DADOS OBTIDOS DE PWV, PRESSÃO E TEMPERATURA ...	20
4.2 TENDÊNCIA .....	23
4.2.1 RJNI-Niterói.....	23
4.2.2 RJVA-Valença .....	24
4.2.3 ONRJ – Forte de Copacabana, Jacarepaguá e Vila Militar).....	26
4.3 CORRELAÇÃO .....	30
<b>5 CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>32</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo Carmona Et. Al (2016), a água em abundância é indispensável para a vida e o desenvolvimento dos ecossistemas como recurso natural renovável. De todos os componentes que constituem a atmosfera, o vapor d'água pode ser considerado um dos mais cruciais, uma vez que sua quantidade na troposfera está diretamente relacionada com o ciclo hidrológico em determinada região, formação de nuvens e chuvas, bem como com processos fisiológicos de plantas e animais na região, como a evapotranspiração. A troposfera é a região mais baixa da atmosfera terrestre, e segundo Barry e Chorley (2013) detém a maior parte dos gases que compõem a atmosfera. É limitada pela tropopausa em média entre 9 a 15 km de altitude.

A quantificação do vapor d'água atmosférico possui limitações e, por isso, torna-se uma das maiores fontes de erros nas previsões de fenômenos meteorológicos. Algumas das técnicas convencionais de medição do vapor d'água na atmosfera envolvem tecnologias como radiometria (MARÍN et. al., 2015) ou até mesmo sensoriamento remoto e processamento de imagens hiperespectrais (LI et. al., 2003), entretanto é possível determiná-lo também por meio das observações com GNSS (BENEVIDES, 2016). Através do Posicionamento por Ponto Preciso, erros de origem atmosférica são corrigidos de forma indireta a partir de modelos empíricos. Dessa forma informações ionosféricas, como o conteúdo total de elétrons, e informações troposféricas como o vapor d'água podem ser obtidas a partir do Atraso Troposférico e do Atraso Zenital Úmido, por exemplo.

No Brasil encontram-se alguns estudos sobre a temática em autores como Sapucci (2001), que apresenta esta técnica geodésica como uma alternativa de baixo custo, visto que podem ser empregados dados de estações de monitoramento contínuo proporcionando altas resoluções espaciais e temporais. Séries diárias, semanais, mensais, e anuais podem ser geradas com estes dados. Tais informações podem auxiliar nos estudos meteorológicos, como por exemplo, na previsão de tempo (Sobrino et al., 2003), monitoramento áreas de risco e prevenção de desastres naturais. Mais recentemente, autores como Siqueira (2020) apresentam uma abordagem completa à metodologia, apresentando seus princípios e resultados com equipamentos modernos.

Essa variabilidade climática é possível de ser estudada e avaliada, e isso depende, principalmente, da escala de tempo com que se trabalha. Um estudo local realizado por Ferrari (2012) no estado de São Paulo aborda que embora a temperatura tenha apresentado uma tendência de crescimento nas últimas décadas, suas variações são de inconsistentes em relação ao tempo, não se apresentaram significativas para determinar uma variabilidade climática ou até mesmo liga-las a um fato específico. O autor também traz a hipótese de que tais mudanças tendem de se originar de alterações aleatórias naturais, como na presença de fenômenos como El Niño e La Niña, passagens de frentes ou eventos climáticos, e que com estudos a longo prazo, quanto menor for a variabilidade dos fatores climáticos mais confiável é o planejamento de atividades de controle pelas diversas entidades. Dessa forma, torna-se necessária a descoberta de meios que permitam a identificação de uma variabilidade climática local de maneira precisa e consistente.

No decorrer deste estudo, podemos verificar se os dados de Vapor D'água ou *PWV (Precipitable Water Vapor)*, Temperatura e Pressão estão correlacionadas quando comparados ao longo do tempo e, paralelamente, avaliar se há uma tendência específica para a variação do clima no local de estudo. No Brasil, as estações da A Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos sistemas GNSS (RBMC) bem como o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) são de extrema importância para trabalhos como este, pois são as principais fontes deste tipo de informação.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 OBJETIVO GERAL

- Estimar por dados de vapor de água atmosféricos por GNSS a partir de estações RBMC (PWV-GPS), e analisar frente a dados meteorológicos de Precipitação e Temperatura, a correlação entre estas variáveis, bem como avaliar a tendência da Variabilidade Climática na região de estudo.

### 1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudar a influência da distância das estações RBMC em relação às estações do INMET ao se analisar os dados.
- Aplicar os conceitos de Tendência e Correlação das variáveis (PWV, Temperatura e Pressão) para uma mesma localidade ao longo do tempo na região de estudo.
- Obter a correspondência, tanto numérica quanto visual dos dados utilizados, para validação a metodologia aplicada.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 GNSS

Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS) é o nome dado ao conjunto de Constelações de Satélites desenvolvidas para fornecer posicionamento preciso e em tempo real aos seus usuários de maneira integral, com disponibilidade e continuidade de serviço (SEEBER, 2003). Atualmente, o GNSS é composto principalmente por outros quatro sistemas, os quais possuem suas próprias constelações de satélites, estações de controle, finalidades e métodos operacionais:

- NAVSTAR-GPS (*Navigation Satellite with Time and Ranging - Global Positioning System*): é o sistema desenvolvido pelos Estados Unidos da América. Inicialmente focado para fins militares, o GPS hoje é o sistema mais utilizado no mundo, e conta com um total de 31 satélites;
- GLONASS (*Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema*): desenvolvido pela Rússia em 1995, inicialmente para fins militares, e conta com 24 satélites;
- GALILEO: Desenvolvido pela Comunidade Europeia, conta com 30 satélites ativos atualmente, e foi pensado e projetado diretamente para a iniciativa civil;
- COMPASS/BEIDOU-2: De origem Chinesa, era tido como um projeto local, atualmente já se faz presente no meio global, com 35 satélites ativos.

#### 2.1.1 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

A obtenção de coordenadas, necessárias para se localizar no globo, se dá a partir do cálculo das chamadas pseudodistâncias, formadas entre as antenas do satélite e do observador, pelo menos quatro, e da posição conhecida dos satélites num sistema de referência geocêntrico (MONICO, 2008). Esta distância apresenta erros principalmente em relação ao não sincronismo entre o receptor e o satélite, e por isso é denominada pseudodistância (NARDEZ, 2015). Segundo GEMAEL (1994) o posicionamento pode ser determinado a partir da observação de 4 satélites,

entretanto, é apenas a partir do quinto satélite que se torna possível realizar o ajustamento das observações com a abundância necessária para analisar a qualidade do posicionamento.

As pseudodistâncias podem ser obtidas ao se calcular uma estimativa baseada na velocidade de propagação da luz e a diferença de tempo entre o emissor e o receptor, levando em consideração a distância geométrica entre o satélite e o receptor, o erro do relógio do receptor em relação ao tempo GPS para o instante da observação e da emissão, as refrações ionosférica e troposférica, o comprimento da onda portadora, a ambiguidade na portadora, a magnitude do efeito de multicaminho, entre outros fatores para refinar a distância originalmente estimada. (MONICO, 2008), (SEEBER, 2003), (SIQUEIRA, 2020);

### 2.1.2 MODELAGEM TROPOSFÉRICA

Na definição da distância (pseudodistância) entre o satélite e o receptor, dentre os diversos erros já mencionados, está o atraso troposférico. Sua determinação está relacionada com as etapas de predição, especialmente suscetível a erros nas efemérides e correções dos relógios dos emissores e receptores (SAPUCCI, 2005). Este atraso pode ser estimado no processo de modelagem a partir de uma série de predições e filtragens (equação 1), de forma que quanto mais refinada a minimização dos demais erros, menos a determinação do atraso troposférico será acometida de incertezas.

Com o uso da modelagem matemática do método GPS do Posicionamento por Ponto de Preciso (PPP), é possível chegar a uma determinação do atraso troposférico utilizando a combinação linear  $L_0$  das observações da fase tanto na frequência 1 quanto na 2, para um receptor ( $i$ ) e um satélite ( $1$ ), tem-se:

$$cdt^1 + \lambda_{L_0} \phi_{iL_0}^1 = \Delta Sg_i^1 + \lambda_{L_0} \Omega_{iL_0}^1 + D_{TROP i} + cdt_i + \varepsilon_{\phi L_0}, \quad (1)$$

Onde:  $cdt^1$  é o erro do relógio do satélite obtido pela aplicação de efemérides precisas,  $\lambda_{L_0}$  é o comprimento da combinação linear  $L_0$ ,  $\phi_{iL_0}^1$  é a fase da combinação linear  $L_0$  geradas no receptor,  $\Delta Sg_i^1$  é a distância geométrica entre o satélite e o

receptor,  $\Omega_{i L_0}^1$  é a ambiguidade da fase,  $D_{TROP}$  é o atraso troposférico,  $cdt_i$  é o erro do relógio do receptor e  $\varepsilon_{\phi L_0}$  são os resíduos nas medidas da fase.

O atraso troposférico é apresentado a partir da soma das componentes hidrostática e úmida, e depende ainda das respectivas funções de mapeamento, de acordo com a seguinte equação:

$$D_{TROP} = D_{ZH}mh(E) + D_{ZW}mh(E), \quad (2)$$

Onde:  $D_{ZH}$  é a componente hidrostática,  $D_{ZW}$  a componente úmida e  $mh(E)$  e  $mw(E)$  são funções de mapeamento que relacionam o atraso das componentes hidrostática e úmida, respectivamente, com o ângulo de elevação (E) do satélite. O  $D_{ZH}$  pode ser obtido ao aplicar medidas de pressão atmosférica na seguinte equação:

$$D_{ZH} = (2,27683157 \times 10^{-3} \pm 5,0 \times 10^{-7}) \frac{P_0}{(1 - 0,0026\cos 2_\varphi - 0,00028h_0)} \quad (3)$$

Na qual  $P_0$  é a pressão atmosférica local em hPa,  $\varphi$  é a latitude do local e  $h_0$  a altitude elipsoidal em km. Já a componente úmida segue o seguinte modelo:

$$D_{ZW}(t) = D_{ZW}(t_0) + D_{ZW}(t - t_0), \quad (4)$$

Sendo  $t_0$  a época inicial dos lotes em que foi dividido o arquivo de observações, e  $t$  a época em que se deseja determinar o atraso zenital da componente úmida.

Para o cálculo do *PWV* (*Precipitable Water Vapor*), que seria a altura de uma coluna equivalente de água líquida na superfície, é necessário, a priori, determinar o valor do chamado vapor de água integrado (*IWV*), o que pode ser dito como a massa de vapor d'água por unidade de área (SAPUCCI, 2001). Na determinação do valor de *IWV*, é possível utilizar a relação existente entre o vapor d'água integrado e o atraso zenital úmido, expresso pela variável  $\Psi$ . Com isso, tem-se:

$$IWV = D_{ZW}\Psi \quad (5)$$

A partir de então, o valor da água precipitável ( $PWV$ ) é obtido dividindo-se a quantidade encontrada na equação (5) pela densidade da água líquida ( $\rho_a = 1000\text{kg}/\text{m}^3$ ).

### 2.1.3 RBMC

A RBMC é composta por 152 estações GNSS (IBGE, 2021) distribuídas pelo território brasileiro, equipadas com receptores de alto desempenho que operam continuamente cujas coordenadas são determinadas com dados de satélites recebidos 24 horas por dia. O sistema é mantido por entidades governamentais e educacionais e está constantemente em processo de atualização, o que pode resultar em estações momentaneamente inoperantes ou desativadas. A estrutura atual de estações da RBMC pode ser observada na figura a seguir:

Figura 1: RBMC 2021:



Fonte: IBGE;

A constante coleta de dados, juntamente com o fato de todas as estações fazerem parte da Rede de Referência SIRGAS-CON (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas de monitoramento Contínuo), fornece coordenadas com precisão na ordem de  $\pm 5\text{mm}$  (IBGE, 2021). A disponibilidade dos dados da RBMC pode ser consultada diretamente no IBGE, bem como os dados em formato RINEX, desde o ano em que foram implementadas, tornando o produto acessível para todos os usuários.

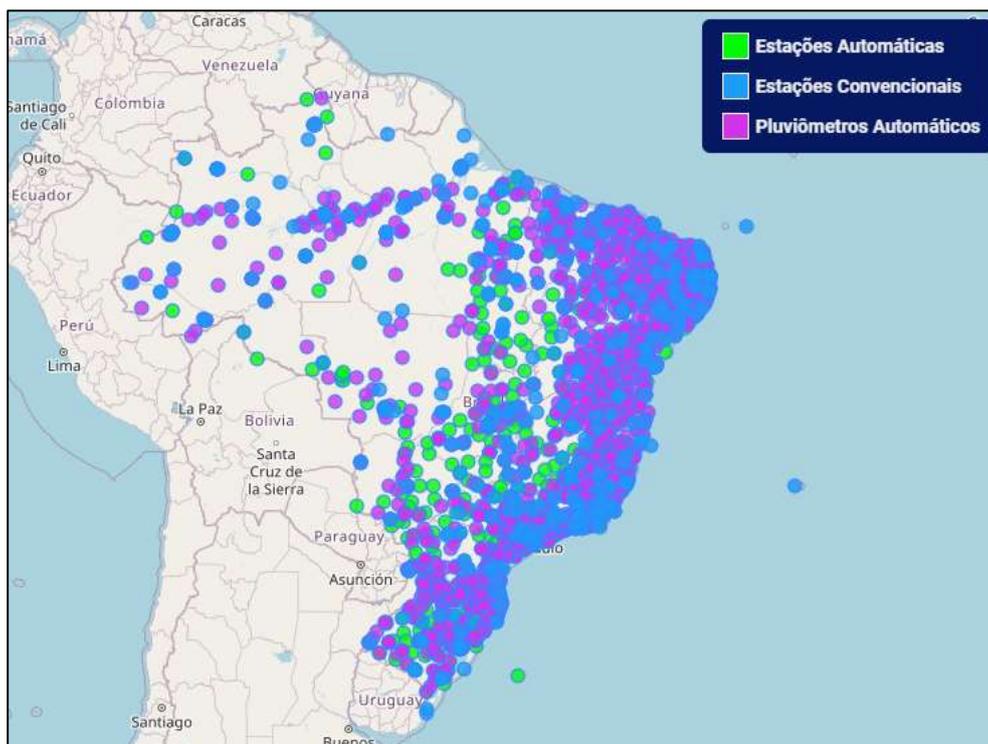
A estrutura robusta da rede e de processamento fizeram da RBMC altamente precisa e estável a longo prazo, possibilitando uma larga cobertura continental e a integração consistente das redes de referência nacionais latino-americanas e no sistema de referência continental e global (SIRGAS, 2022), possibilitando aplicações para posicionamentos em tempo real ou pós-processados, tornando trabalhos de topografia e geodésia, ou até mesmo de meteorologia, mais econômicos, precisos e rápidos de serem executados.

## 2.2 INMET

A provisão de informações meteorológicas para a sociedade, obtidas por meio de monitoramentos e análises, é a principal função do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), órgão criado em 1909 pelo Ministério da Agricultura, Indústria e Comércio, cuja missão consiste em “Prover informações meteorológicas confiáveis à sociedade brasileira e influir construtivamente no processo de tomada de decisão, contribuindo para o desenvolvimento sustentável do País por meio de monitoramento, análise e previsão de tempo e clima, que se fundamentam em pesquisa aplicada, trabalho em parceria e compartilhamento do conhecimento, com ênfase em resultados práticos e confiáveis”. Dentre algumas das atribuições do INMET pode-se citar: elaborar e divulgar diariamente a previsão do tempo em âmbito nacional; projetar pesquisas de acompanhamento climático e ambiental; estabelecer e coordenar redes de observações meteorológicas; (INMET, 2021).

Para a coleta de dados meteorológicos como temperatura, umidade relativa do ar, direção e velocidade do vento e pressão atmosférica, o INMET faz uso de estações de sondagem de ar superior, além de estações meteorológicas de superfície, operadas manualmente e a maior rede de estações automáticas da América do Sul. A estrutura de estações atuais do INMET pode ser observada na figura a seguir:

Figura 2: Estações INMET no Brasil.



Fonte: INMET (2021);

O INMET possui mais de 400 estações coletando dados meteorológicos, como Temperatura; Umidade e Pressão 24 horas por dia. Esses dados estão disponíveis gratuitamente no website do Instituto, e possuem informações coletadas todos os dias desde 1961. No presente trabalho, pretende-se comparar os dados de PWV obtidos através das estações GNSS da RBMC com dados de Temperatura e Precipitação obtidos das estações do INMET.

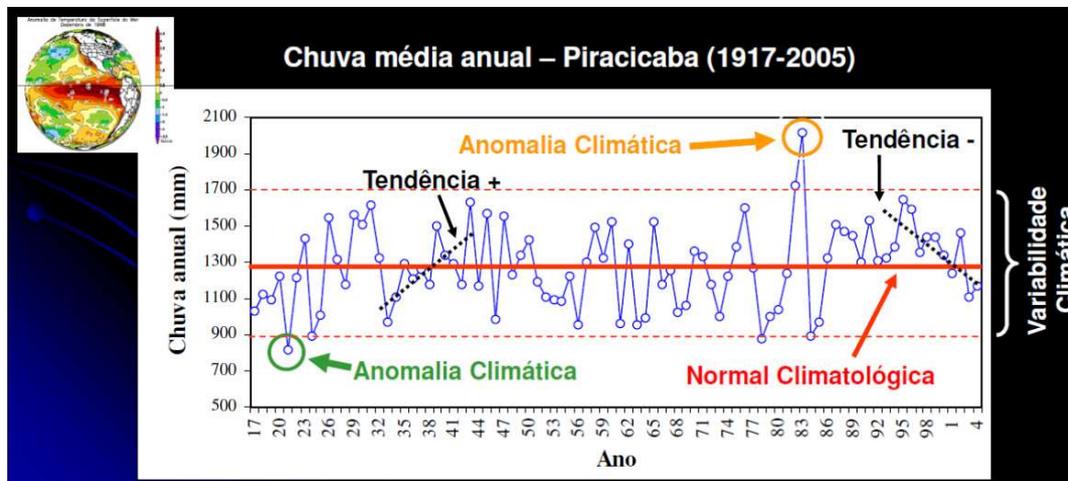
### 2.3 VARIABILIDADE CLIMÁTICA

A variabilidade climática remete as flutuações do clima, das condições meteorológicas e climatológicas em função das condições naturais do planeta. Pode existir, entretanto, a presença de anomalias ou valores com desvio acentuado do padrão, normalmente associados a um evento ou alteração, podendo ser de origem natural ou antrópica. (ANGELOTTI E SENTELHAS, 2010)

Associada a eventos astronômicos e periódicos, como a translação e rotação da Terra, El Niño e La Niña, Frentes de vento e Correntes Marítimas, o clima

apresenta, também, uma variabilidade natural quando se compara as ocorrências de um determinado ano com os anos anteriores e seguintes (FERRARI, 2012).

Figura 3: Variação da Precipitação ao longo do tempo.



Fonte: Angelotti e Sentelhas (2010);

Já as alterações na variabilidade climática do planeta que apresentem uma tendência forte de alteração estatística média através de períodos de tempo mais extensos (como décadas ou séculos), decorrentes ou não das atividades humanas, são chamadas de “mudanças climáticas” (ANGELOTTI E SENTELHAS, 2010);

As tendências a curto prazo ajudam a evidenciar o ciclo climático na região em que está sendo monitorado. Possibilitar um meio confiável de associar as informações de vapor d’água com GNSS e os dados meteorológicos das estações do INMET torna viável a medição mais precisa das tendências climáticas a longo prazo, visto que a Rede Geodésica Internacional se propõe a ser uma ferramenta de operação contínua. Estes estudos de curto prazo como o deste projeto se propõem a validar o uso desta tecnologia para o estudo em si, bem como ajudar a viabilizar a implementação desta ferramenta a longo prazo como meio de determinar se está havendo ou não uma mudança climática, com menor custo e maior eficiência.

### 3 MATERIAS E MÉTODOS

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Com uma população de 17.463.349 habitantes (estimados para 2021), o estado do Rio de Janeiro cobre uma área no sudeste brasileiro de 43.750,426 km<sup>2</sup>, totalizando uma densidade demográfica estimada de 399,16 hab./km<sup>2</sup> (IBGE, 2021). Como na maioria do território nacional, o clima presente no estado é do tipo tropical, quente e úmido, com variações locais, devido às diferenças de altitude, vegetação e proximidade do oceano. A temperatura média anual é de 22°C, com médias diárias elevadas no verão (de 30°C a 32°C). As chuvas variam de 1.200 a 1.800 mm anuais (GOVERNO DO RIO DE JANEIRO, 2009).

A estação RBMC - RJNI iniciou suas atividades em 14/06/2019. Desta forma, essa data foi tomada como data de início para aquisição de todos os dados a serem empregados nestas análises. Já como definição da data final, foi escolhida 14/06/2021, para que um ciclo de 2 anos fosse analisado.

#### 3.2 ESTAÇÕES RBMC E INMET UTILIZADAS

Como mencionado anteriormente, o Brasil possui uma vasta rede de estações de rastreamento GNSS ativas espalhadas por toda sua extensão, denominada RBMC.

Para o estudo em questão, escolheu-se três estações presentes no estado do Rio de Janeiro nas proximidades da capital, duas mais próximas da região metropolitana e a terceira no município de Vassouras, conhecidas pelos códigos ONRJ, RJNI e RJVA. Na sequência indica-se algumas informações importantes de cada estação RBMC, retiradas diretamente do relatório disponível sobre as mesmas no website do IBGE.

- ONRJ
  - Nome da Estação: Observatório Nacional;
  - Cidade: Rio de Janeiro - RJ;
  - Data de ativação: 30/03/2007;
  - Coordenadas no SIRGAS2000, Época 2000,4:

Tabela 1: Coordenadas estação RBMC - ONRJ

<b>Coordenadas Geodésicas</b>	
Latitude: - 22° 53' 44,52202"	Sigma: 0,001 m
Longitude: - 43° 13' 27,59375"	Sigma: 0,001 m
Alt. Elip.: 35,636 m	Sigma: 0,005 m
<b>Coordenadas Cartesianas</b>	
X: 4.283.638,3579 m	Sigma: 0,003 m
Y: -4.026.028,8217 m	Sigma: 0,003 m
Z: -2.466.096,8361 m	Sigma: 0,002 m
<b>Coordenadas Planas (UTM)</b>	
UTM (N): 7.466.927,821 m	
UTM (E): 682.133,191 m	
MC: -45	

FONTE: Adaptado de IBGE (2007).

- RJNI
  - Nome da Estação: Niterói - UFF;
  - Cidade: Niterói - RJ;
  - Data de ativação: 14/06/2019;
  - Coordenadas no SIRGAS2000, Época 2000,4:

Tabela 2: Coordenadas estação RBMC - RJNI

<b>Coordenadas Geodésicas</b>	
Latitude: - 22° 54' 21,36876"	Sigma: 0,001 m
Longitude: - 43° 08' 1,69433"	Sigma: 0,001 m
Alt. Elip.: 22,439 m	Sigma: 0,003 m
<b>Coordenadas Cartesianas</b>	
X: 4.289.663,4011 m	Sigma: 0,002 m
Y: -4.018.945,7498 m	Sigma: 0,002 m
Z: -2.467.135,8382 m	Sigma: 0,001 m
<b>Coordenadas Planas (UTM)</b>	
UTM (N): 7.465.679,499 m	
UTM (E): 691.406,634 m	
MC: -45	

FONTE: Adaptado de IBGE (2019).

- RJVA
  - Nome da Estação: Laboratório Gravimetria ONRJ - Vassouras;
  - Cidade: Vassouras - RJ
  - Data de Ativação: 12/12/2018;
  - Coordenadas no SIRGAS2000, Época 2000,4:
  -

Tabela 3: Coordenadas estação RBMC - RJVA;

<b>Coordenadas Geodésicas</b>	
Latitude: - 22° 24' 7,95963"	Sigma: 0,002 m
Longitude: - 43° 39' 6,70586"	Sigma: 0,002 m
Alt. Elip.: 444,977 m	Sigma: 0,008 m
<b>Coordenadas Cartesianas</b>	
X: 4.268.978,2721 m	Sigma: 0,006 m
Y: -4.072.667,8313 m	Sigma: 0,005 m
Z: -2.415.818,5220 m	Sigma: 0,003 m
<b>Coordenadas Planas (UTM)</b>	
UTM (N): 7.522.030,561 m	
UTM (E): 638.769,195 m	
MC: -45	

FONTE: Adaptado de IBGE (2018).

Verifica-se que duas delas (ONRJ e RJNI) estão localizadas em latitudes próximas e possuem cerca de 13 m de diferença na altitude elipsoidal. Por sua vez, a estação RJVA está mais distante e a noroeste das duas outras estações e apresenta cerca de 410 m de diferença na altitude elipsoidal aos se comparar com ONRJ e RJNI.

Para o estudo do presente trabalho, é importante o conhecimento da distância, ou linha de base, entre as estações, a fim de determinar se a distância entre a extensão da homogeneidade climática da região ou se existem eventos próximos a estações específicas que possam estar causando alterações perceptíveis. As distâncias entre as estações RBMC estão de acordo com a tabela a seguir:

Tabela 4: Distâncias entre estações RBMC;

Estações	Distância (m)
ONRJ - RJNI	9356,796
ONRJ - RJVA	70125,137
RJNI - RJVA	77115,893

FONTE: O Autor (2021).

No total, cinco estações do INMET foram selecionadas visando ter informações de dados meteorológicos nas imediações das estações RBMC, visando associar as estações mais próximas possíveis, pois as distâncias entre as estações são igualmente importantes neste caso. No comparativo entre os valores de PWV da estação RBMC-RJNI, foram utilizados dados de Temperatura e Precipitação da estação INMET-Niterói. Similarmente, para a RBMC-RJVA, foram utilizados dados da estação INMET-Valença. A estação RBMC-ONRJ não possuía estações INMET com proximidade similar às demais empregadas no estudo, portanto optou-se por designar 3 estações para comparação dos resultados, sendo elas denominadas Forte de Copacabana, Vila Militar e Jacarepaguá. As distâncias entre as estações RBMC e INMET pode ser observada conforme a tabela a seguir:

Tabela 5: Distâncias entre estações RBMC e estações INMET;

Estações	Distância (m)
ONRJ - Forte de Copacabana	11020,702
ONRJ - Vila Militar	19458,16
ONRJ - Jacarepaguá	18676,678
RJNI - Niterói	5279,014
RJVA - Valença	6813,526

FONTE: O Autor (2021).

A seguir, para melhor ilustrar a posição relativa entre as estações empregadas no trabalho foi elaborado um Mapa de Localização que pode ser encontrado na figura a seguir:

Figura 4: Mapa de Localização - Estações RBMC e INMET



Como é possível perceber, enquanto as estações RBMC-RJNI e RJVA possuem estações INMET a uma distância máxima de 6,8 km, enquanto a menor distância entre a estação RBMC-ONRJ a uma estação do INMET é de 11 km. A análise a partir de três estações meteorológicas vai permitir determinar se esta variação de distância possui impacto na correlação dos resultados no comparativo, verificando se distâncias maiores entre as estações RBMC e as Estações INMET produzam resultados menos homogêneos.

### 3.2.1 ESTIMATIVA DO PWV

Para se obter os valores de PWV, desejados para a avaliação a ser feita, é preciso, primeiramente, obter os dados do atraso troposférico. Para tal, foi utilizado um programa em linguagem Python. Além disso, outro programa, na mesma linguagem, foi utilizado como forma de calcular, entre outros, os valores de PWV. Ambos os programas foram desenvolvidos e fornecidos por PILAPANTA (2018).

Os dados coletados através das estações GNSS que resultam nos valores de PWV são fornecidos de maneira contínua a cada 15 minutos. Os dados adquiridos das estações INMET são fornecidos em séries a cada 1 hora, o que faz com que seja necessário a conversão dos dados de vapor d'água em séries horárias espaçadas da mesma forma. Para isso é empregado o valor de média do *PWV* calculado para cada hora cheia.

Tabela 6: Recorte de arquivo do PWV processado;

<b>Dia/Hora</b>	<b>PWV (mm)</b>
15/06/2019 00:00	30,42
15/06/2019 01:00	29,63
15/06/2019 02:00	28,71
15/06/2019 03:00	27,98
15/06/2019 04:00	28,2
15/06/2019 05:00	28,6
15/06/2019 06:00	28,01
15/06/2019 07:00	27,39
15/06/2019 08:00	27,13
15/06/2019 09:00	27,07
15/06/2019 10:00	27,21
15/06/2019 11:00	26,66
15/06/2019 12:00	25,93
15/06/2019 13:00	24,96
15/06/2019 14:00	24,17
...	

FONTE: O Autor (2021).

Após a geração dos arquivos contendo as informações, com o emprego do software *MatLab*, foi possível a elaboração de gráficos contendo as séries temporais. Estes gráficos possibilitaram a análise de tendência que será apresentada posteriormente

### 3.2.2 DADOS DE TEMPERATURA E PRECIPITAÇÃO

Como já mencionado, os dados das Estações INMET são emitidos em intervalos de 1h, portanto é possível realizar a representação da série temporal dos registros de temperatura e precipitação nestas estações e podem ser representados de forma gráfica na mesma escala que os dados de vapor d'água. São fornecidos

dados das temperaturas instantânea, máxima e mínima porém neste trabalho optou-se em empregar os valores das temperaturas instantâneas.

### 3.3 ANÁLISES EMPREGADAS

#### 3.3.1 Análise de Tendência

O Estudo da tendência de dados pontuais existe de maneira consolidada há muito tempo na literatura. A maneira tradicional de analisar uma série temporal é através da sua decomposição nas componentes de tendência, ciclo e sazonalidade (MORETTIN, 1987). Esta ideia mostra-se reforçada por GARBER (1995), que afirma que situações que se repete em intervalos fixos, apresentando um comportamento padrão, são chamados de séries temporais sazonais, e a este padrão de repetição emprega-se o nome de efeito sazonal.

Uma série temporal, a longo prazo, apresenta um comportamento claro e, a este comportamento, designa-se o nome de tendência. A tendência prevê informar se a série está em alta, em baixa, ou se permanece estável, por exemplo.

No contexto deste trabalho, a tendência das séries climáticas permitirá traçar paralelos entre o comportamento do vapor atmosférico obtido via GNSS e o comportamento dos dados de temperatura e pressão medidos pelo INMET. Com esta comparação torna-se possível indicar comportamentos e dinâmicas sobre a variabilidade climática local nas regiões onde estão implementadas as estações e este estudo permite, a longo prazo, determinar se o comportamento sazonal possui causas naturais ou se eventualmente há outras razões, antrópicas ou naturais, relacionadas a qualquer possível anomalia futura. Para a Análise de Tendência utilizou-se o software *Matlab*.

#### 3.3.2 Coeficiente de Correlação de Pearson

A Correlação de Pearson pode ser definida como uma medida de associação linear entre variáveis quantitativas. O Coeficiente de Correlação de Pearson varia seus valores entre -1 e 1, sendo o sinal somente o indicativo da direção da correlação. Quanto mais perto de 1 for o valor do coeficiente, mais forte é considerado o nível de associação linear entre as variáveis. Por consequência, quanto mais próximo do 0, menor é esse mesmo nível (PARANHOS et al., 2014).

Em relação à magnitude do coeficiente, não há um consenso sobre o que é considerada uma correlação forte ou fraca, pois depende dos objetivos de correlação requisitados para cada estudo em particular. Tomou-se por base portanto os intervalos destacados por COHEN (1988):  $0,10 < r < 0,29$  = fraco;  $0,30 < r < 0,49$  = médio e  $r > 0,50$  = forte, sendo  $r$  o valor do coeficiente.

Foram calculados para esta análise dois valores de correlação para cada par de estações RBMC e INMET, um avaliando a correlação entre as variáveis vapor d'água com a temperatura, e outro os valores de vapor d'água com a precipitação. Para o cálculo, fez-se uso do software *Matlab* e de sua ferramenta que permite a determinação numérica dessa correlação de maneira automática.

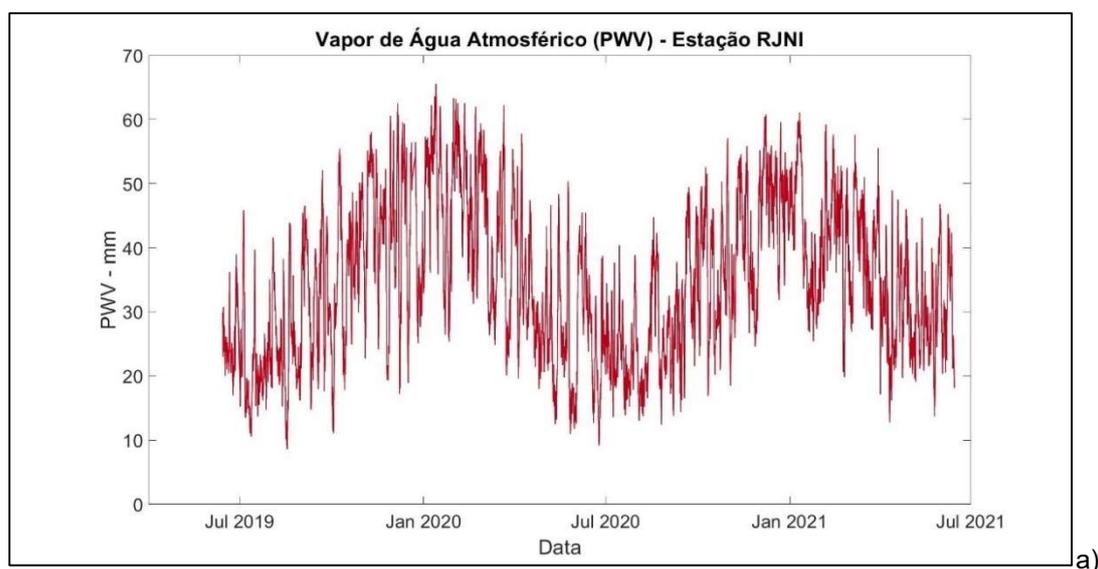
## 4 ANÁLISE E RESULTADOS

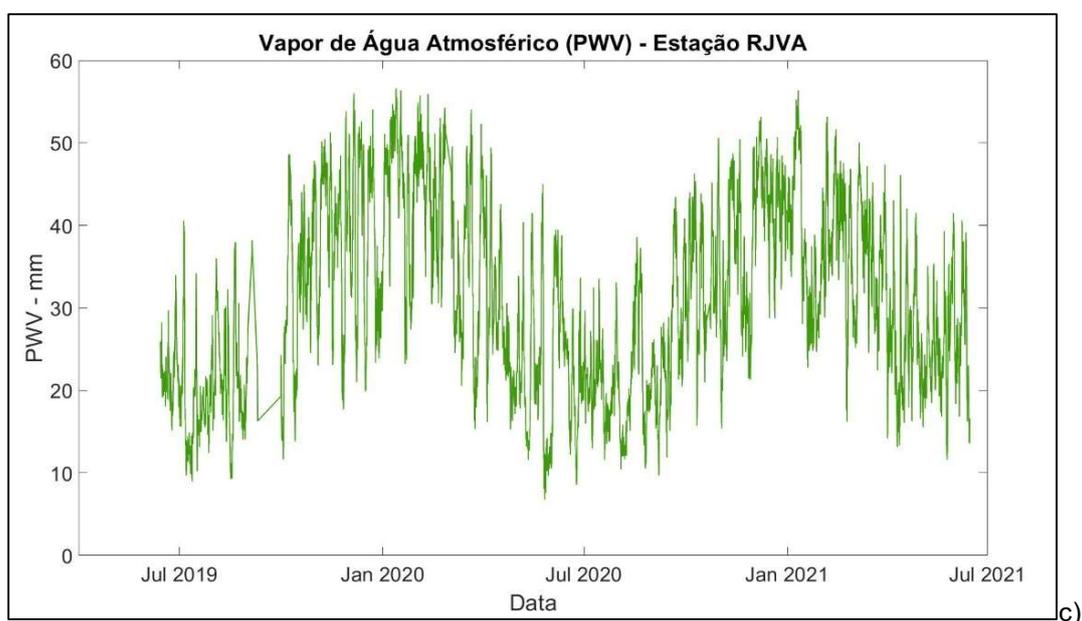
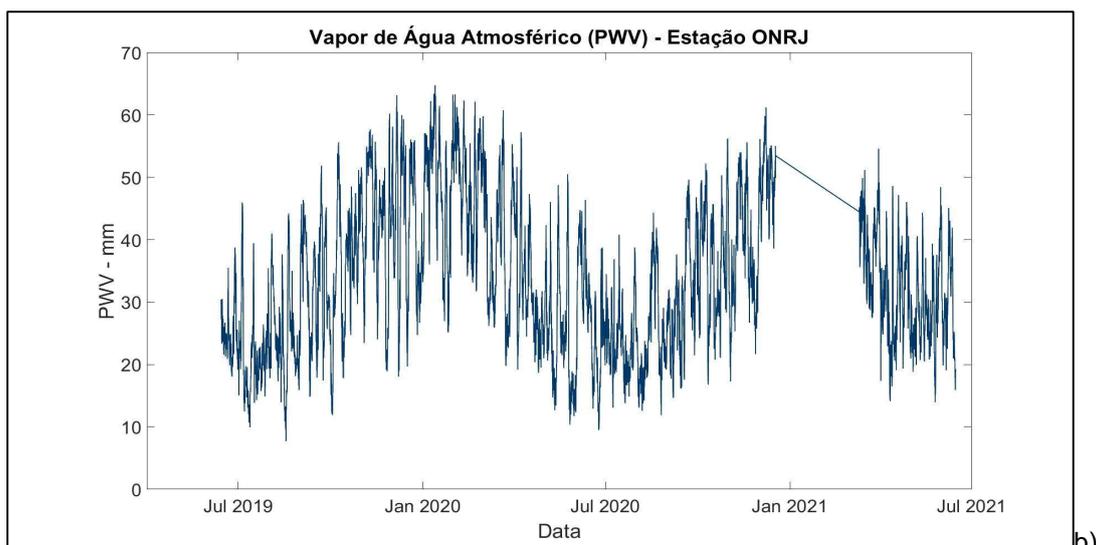
Neste capítulo serão abordadas todas as formas de análises realizados acerca dos dados PWV-GNSS e sua relação com os dados INMET.

### 4.1 ANÁLISE DOS DADOS OBTIDOS DE PWV, PRESSÃO E TEMPERATURA

Cada estação GNSS resultou em uma série temporal com padrão de comportamento sazonal visualmente reconhecível. As estações RJNI e ONRJ, como possuem maior proximidade física, apresentam séries temporais praticamente idênticas. A estação RJVA apresentou um comportamento levemente diferente. Torna-se necessário realizar uma análise numérica destas variáveis para compreender alguns indicadores estatísticos gerais sobre as séries temporais: A comparação visual pode ser feita com auxílio da figura a seguir:

Figura 5: a), b), c): Análise dos dados PWV-GNSS entre estações RBMC analisadas;





FONTE: O Autor (2021)

O comportamento dos gráficos pode ser elucidado ao se analisar a tabela a seguir, a qual apresenta valores quantitativos dessa afinidade entre os dados.

Tabela 7: Análise do PWV (mm) para cada estação RBMC;

	<b>ONRJ</b>	<b>RJNI</b>	<b>RJVA</b>
Valor máximo	64,72	65,59	56,56
Valor mínimo	7,70	8,58	6,79
Média	33,67	34,78	30,88
Amplitude	57,02	57,01	49,77

FONTE: O Autor (2021)

Nota-se que, todos os valores apresentados das estações ONRJ e RJNI são muito próximos. Em contrapartida, a estação RJVA apresentou valores bem distintos das demais. Isso comprova a consistência e valida os dados obtidos das estações RBMC.

Da mesma forma, a Tabela a seguir compara os valores dos indicadores estatísticos obtidos a partir dos dados de temperatura e precipitação das estações INMET empregadas neste trabalho:

Tabela 8: Indicadores Estatísticos (Estações INMET no período estudado)

		<b>TEMPERATURA (Kelvin)</b>	<b>PRECIPITAÇÃO (mm)</b>
<b>Forte de Copacabana</b>	Valor máximo	310,40	32,60
	Valor mínimo	288,40	0,00
	Média	296,28	0,13
	Amplitude	22,00	32,60
<b>Jacarepaguá</b>	Valor máximo	312,60	43,40
	Valor mínimo	284,20	0,00
	Média	295,75	0,16
	Amplitude	28,40	43,40
<b>Vila Militar</b>	Valor máximo	314,20	47,60
	Valor mínimo	283,50	0,00
	Média	296,66	0,12
	Amplitude	30,70	47,60
<b>Niterói</b>	Valor máximo	313,70	65,40
	Valor mínimo	286,10	0,00
	Média	297,75	0,13
	Amplitude	27,60	65,40
<b>Valença</b>	Valor máximo	310,60	56,20
	Valor mínimo	280,20	0,00
	Média	294,73	0,12
	Amplitude	30,40	56,20

FONTE: O Autor (2021)

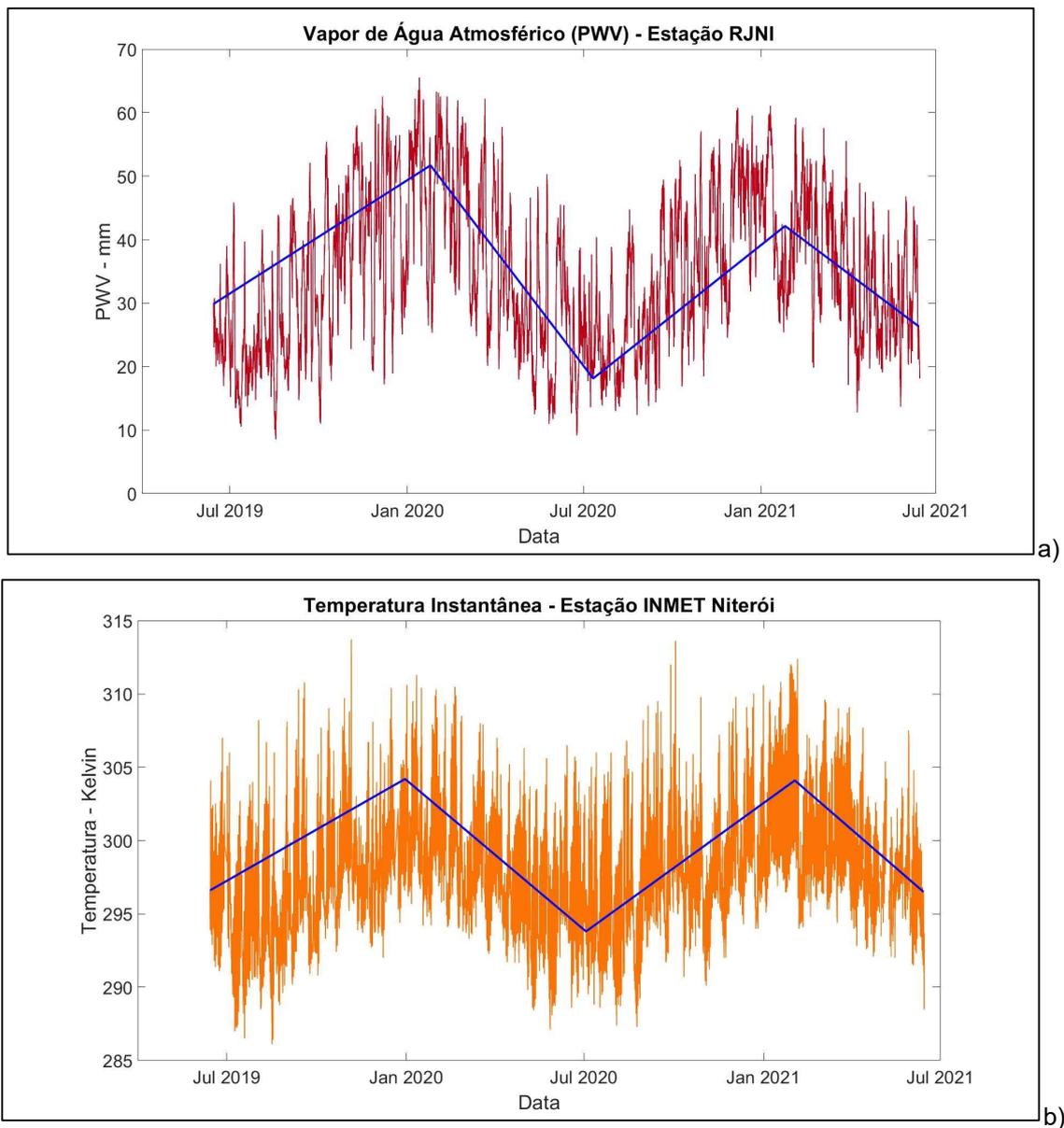
Percebe-se, portanto, valores de temperatura similar em todas as estações, o que era previsto devido ao clima da região. No entanto, os valores de precipitação exigem mais atenção. A estação INMET – Forte de Copacabana apresenta o menor valor de precipitação entre todas as estações estudadas nos quesitos “Valor máximo” e “Amplitude”, porém um valor de média de precipitação semelhante ao de todos. Isso ocorre pois, por ser uma estação localizada na região costeira, há menos períodos com fortes temporais, no entanto a chuva é mais constante durante o ano.

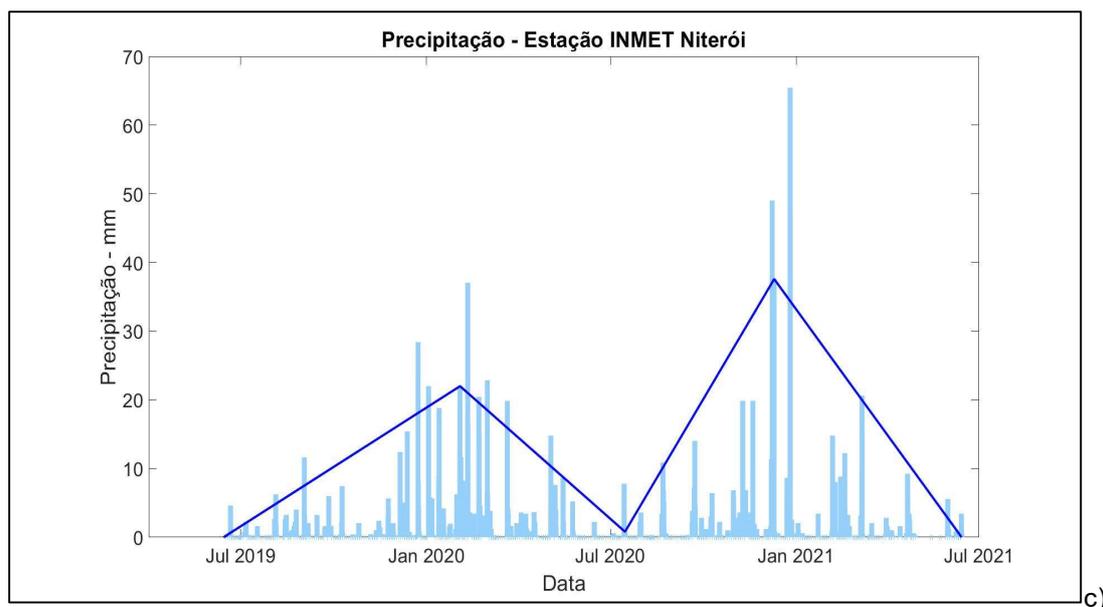
## 4.2 TENDÊNCIA

### 4.2.1 RJNI-Niterói.

Na Figura 06 apresentam-se as tendências sazonais do PWV da estação RBMC-RJNI, localizada em Niterói; da temperatura instantânea e da precipitação da estação INMET-Niterói.

Figura 6: a), b), c): Análise de tendência sazonal (RBMC-RJNI - Niterói).





FONTE: O Autor (2021).

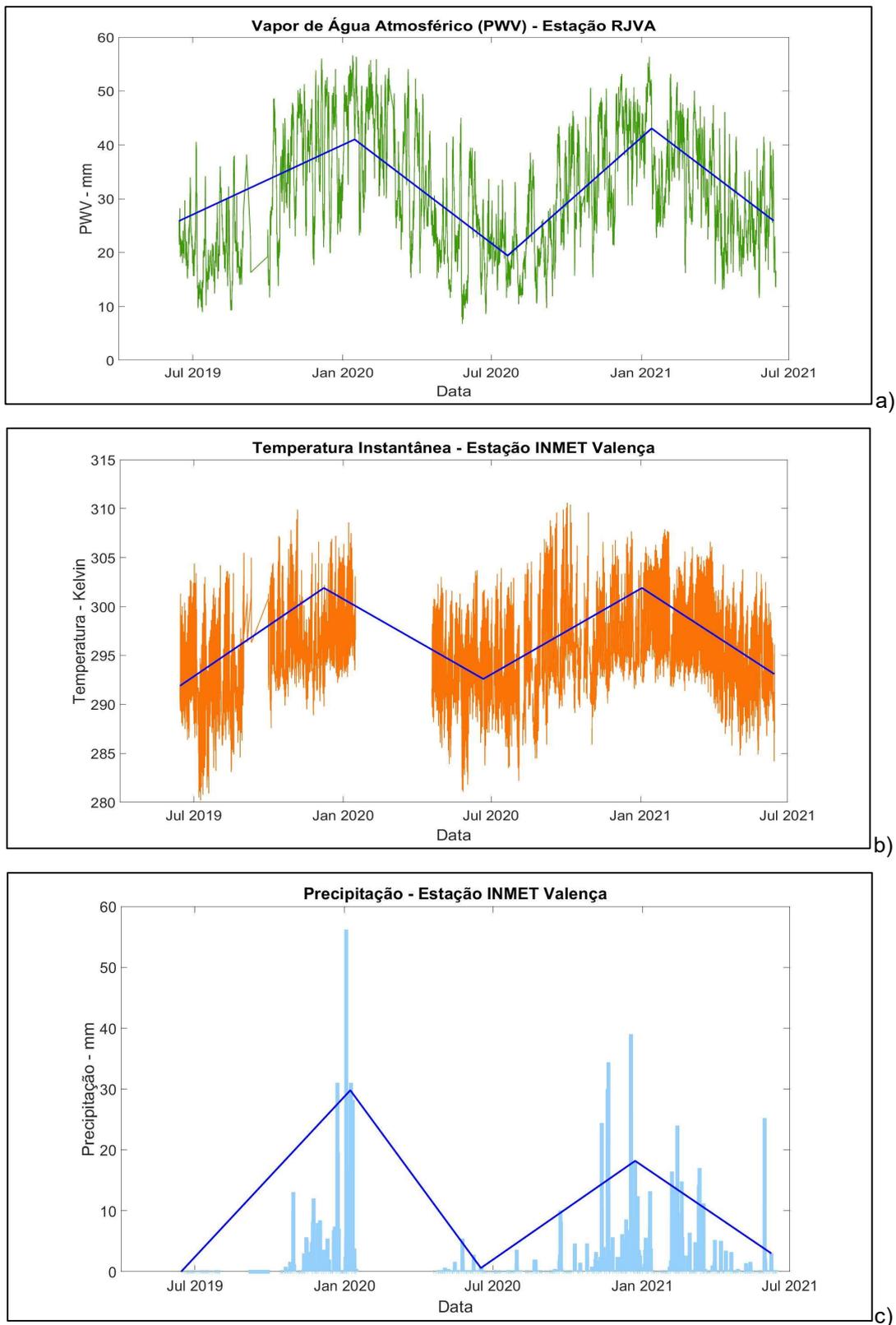
Verifica-se que os valores mais elevados de PWV ocorrem nos meses de janeiro e os menores valores nos meses de julho. Sendo que os valores máximos desta série de PWV foram obtidos em janeiro/fevereiro de 2020. A amplitude de variação do PWV, nestes 2 anos, foi de cerca de 55 mm.

Analisando-se os gráficos apresentados na Figura 06 verifica-se que tanto o valor de PWV da estação RBMC - RJNI, quanto os valores de temperatura e de precipitação da estação INMET - Niterói, possuem uma tendência e um efeito sazonal similar e nítido: A amplitude de variação desta temperatura ao longo dos 2 anos foi de cerca de 28° C, tendo um máximo de 314 K o que equivale a 40,9° C e um mínimo de 286 K (12,9° C). Visualmente, analisando-se esta figura, pode-se dizer que as temperaturas mais altas, nestes 2 anos, ocorreram em janeiro/fevereiro de 2021. A precipitação máxima é de cerca de 65 mm e ocorreu em janeiro/fevereiro de 2021.

#### 4.2.2 RJVA-Valença

Na sequência são dispostos os gráficos com as tendências sazonais para o PWV da estação RBMC-RJVA e os valores de temperatura e de precipitação da estação INMET- Valença. Como ocorreu no caso anterior, aqui, também se percebe uma tendência e um efeito sazonal similar. Os valores mais elevados ocorrem em janeiro de 2020.

Figura 7: a), b), c): Análise de tendência sazonal (RJVA - Valença).



FONTE: O Autor (2021).

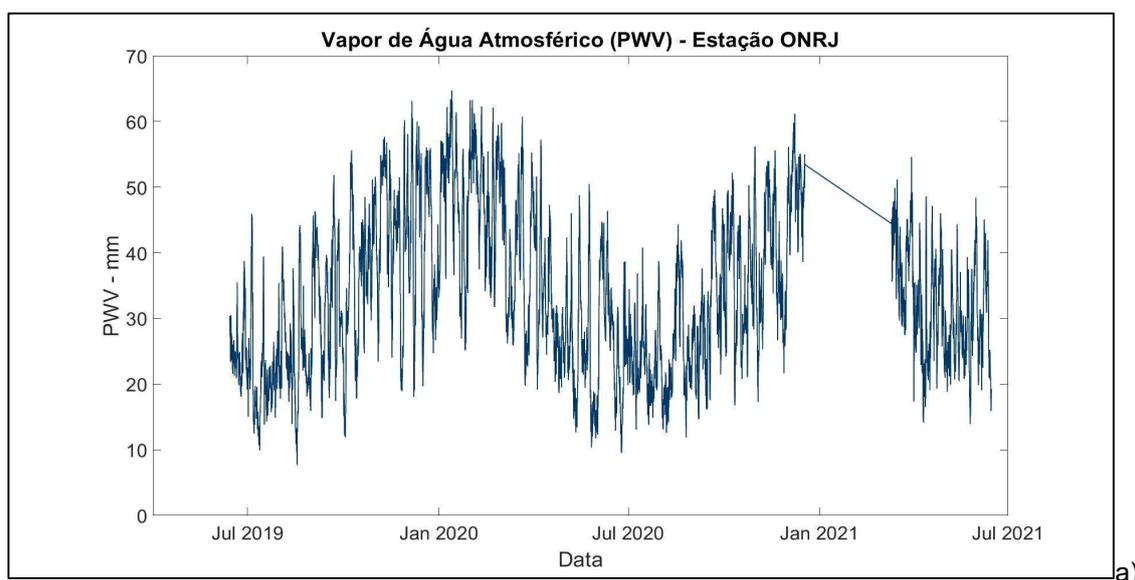
Nota-se ainda que nesta série, com comportamento muito similar da estação RJNI, passou alguns meses da série temporal (entre janeiro e julho de 2020) sem produzir dados. Isso, entretanto, não dificultou a formação do padrão exibido também nos gráficos da estação anteriormente mencionada, evidenciado pela linha de tendência.

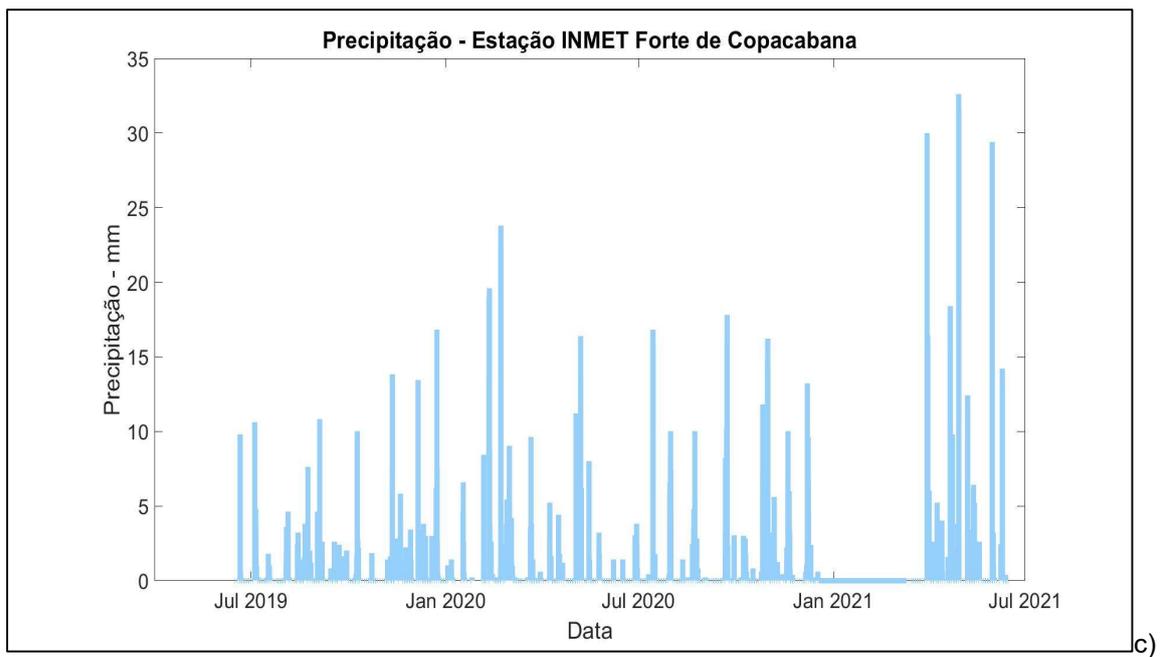
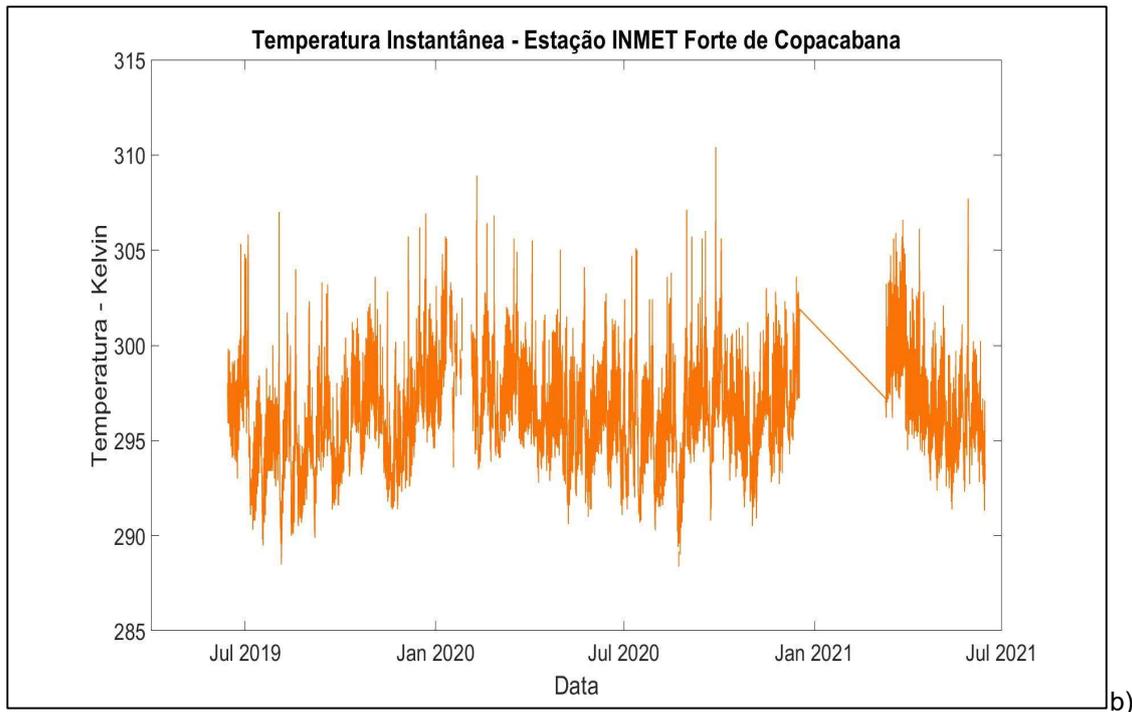
#### 4.2.3 ONRJ – Forte de Copacabana, Jacarepaguá e Vila Militar)

A situação na estação RBMC - ONRJ é um pouco diferente. Para determinar se os dados comparados estão representando a realidade da região, deve-se averiguar nas três estações um comportamento similar aos casos exibidos nas seções 4.2.1 e 4.2.2 deste trabalho. Dessa forma será possível analisar se a grande diferença de distância entre as estações RBMC e INMET foi capaz de interferir nos resultados.

A seguir pode-se comparar as séries temporais da ONRJ com as demais estações, em ordem crescente de distanciamento para com as estações INMET.

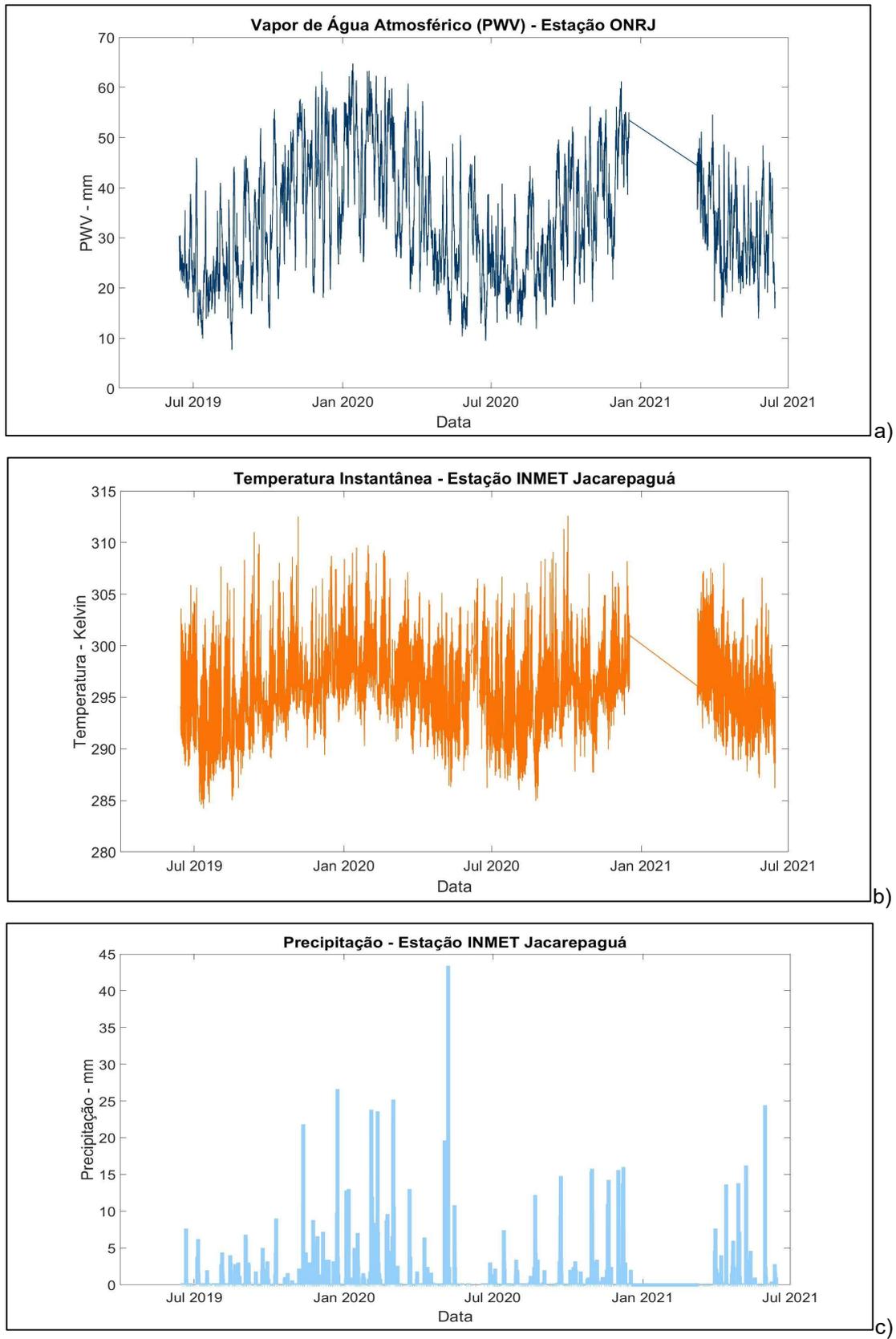
Figura 8: a), b), c): Análise de tendência sazonal (ONRJ – Forte de Copacabana).





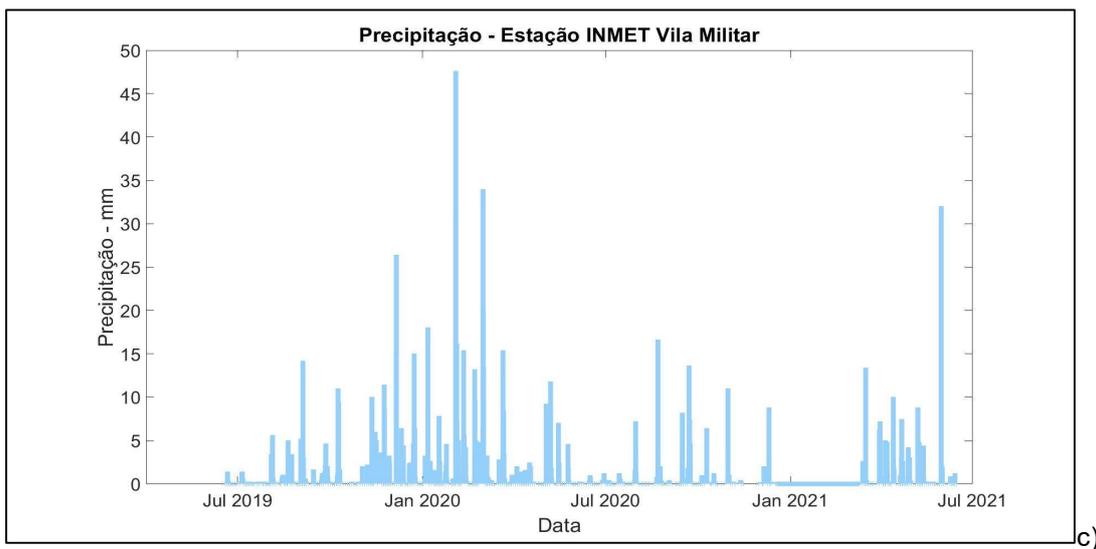
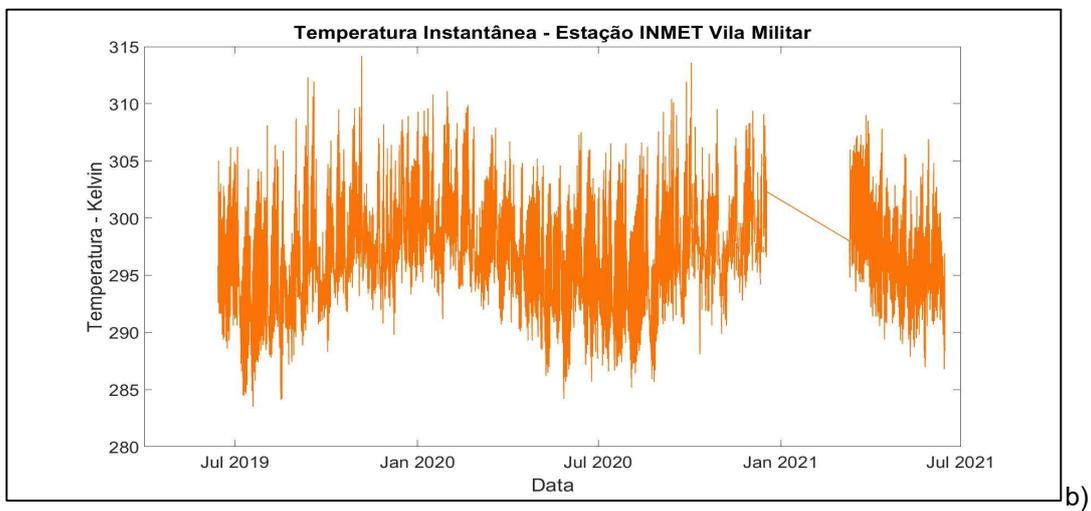
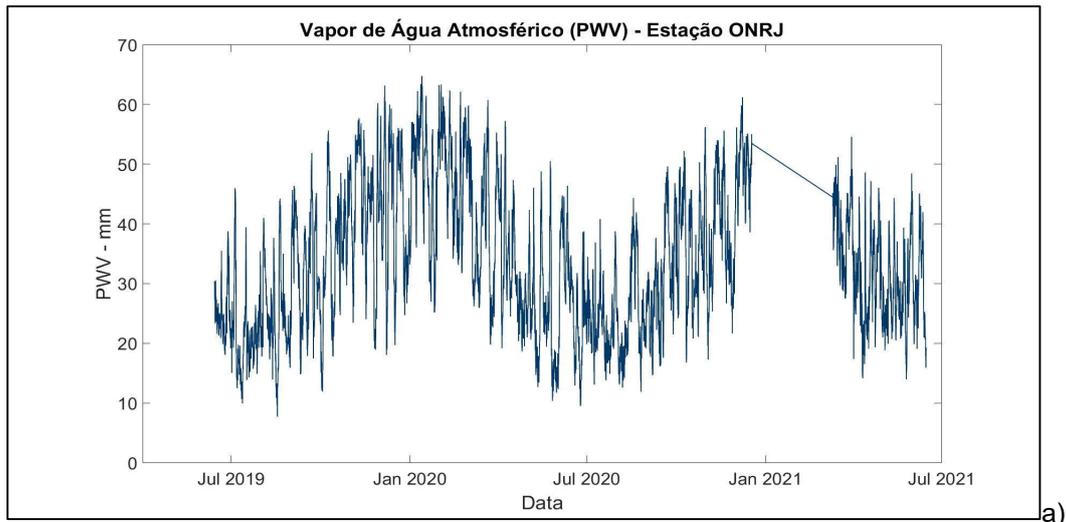
FONTE: O Autor (2021).

Figura 9: a), b), c): Análise de tendência sazonal (ONRJ - Jacarepaguá).



FONTE: O Autor (2021).

Figura 10: a), b), c): Análise de tendência sazonal (ONRJ – Vila Militar).



FONTE: O Autor (2021).

Verifica-se que, apesar dos dados de vapor d'água seguirem o exemplo sazonal das demais estações RBMC, os de temperatura e, principalmente, precipitação, sofrem alterações. Outro diagnóstico é que, apesar dos dados de *PWV* serem muito parecidos, os dados das estações INMET relacionadas à RBMC – ONRJ possuem menor compatibilidade com a estação INMET – Niterói do que o esperado, quando se trata da variável precipitação.

Nota-se que as estações do INMET ficaram sem dados no intervalo de janeiro a julho de 2021, entretanto, similarmente a estação INMET-Valença, que ficou inoperante no mesmo período em 2020. É uma característica deste tipo de serviço o fato de ser interrompido periodicamente para manutenção, entretanto, o intervalo de tempo é demasiadamente curto de forma que a análise de tendência ainda se permite no curto prazo. Curiosamente, ao contrário do que se esperava, comparação onde houve maior discrepância, foi a estação INMET - Forte de Copacabana, a qual é a mais próxima da RBMC - ONRJ. O que reforça que na escala do levantamento, a distância das estações meteorológicas não foi capaz de interferir na análise da variabilidade climática da região.

### 4.3 CORRELAÇÃO

Desta forma, os valores do Coeficiente de Correlação de Pearson para as variáveis e estações determinadas são apresentados na Tabela 07.

Tabela 9: Coeficiente de Correlação de Pearson para *PWV*-Temperatura e *PWV*-Precipitação.

<b>Estações</b>	<b>Temperatura - <i>PWV</i></b>	<b>Precipitação - <i>PWV</i></b>
RJNI	0,2806	0,1397
RJVA	0,3357	0,1460
ONRJ-Forte de Copacabana	0,1664	0,1491
ONRJ-Jacarepaguá	0,2928	0,1736
ONRJ - Vila Militar	0,3086	0,1547

FONTE: O Autor (2021).

A princípio, é possível notar que, no caso da classificação feita por COHEN (1998), todas as correlações seriam de caráter fraco ou médio, sendo todas relacionadas com precipitação e duas de cinco relacionadas com temperatura fracas. Outro fator evidente é a diferença entre os valores de correlação de temperatura e os

de precipitação. Apesar da fraca correlação, fica claro, entretanto, que o vapor d'água, é mais correlacionado com os valores de temperatura na região do que com os da precipitação.

Apesar do distanciamento entre a estação RBMC - ONRJ e as suas correspondentes do INMET ser consideravelmente maior, os valores de correlação, em sua maioria, se equiparam aos valores das estações RBMC - RJVA e RJNI. A correlação mais baixa entre Temperatura-PWV registrada foi obtida entre as estações RBMC-ONRJ e INMET-Forte de Copacabana. A possível causa para tal valor fora da curva seria o fato de a estação INMET estar localizada numa região mais próxima da costa, levemente mais suscetível a interferências climáticas das massas oceânicas.

## 5 CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ponderando sobre os resultados obtidos com as análises de tendência e correlação, obtém-se um resultado que permite fazer algumas reflexões acerca das afirmações inicialmente postuladas.

Acreditava-se que o distanciamento entre as estações RBMC e as estações INMET fosse ser o ponto mais importante da mudança sofrida nas análises. No entanto, o que se notou foi justamente o contrário: como é possível perceber na TABELA 09, os valores de correlação do PWV com a Temperatura nas estações ONRJ com Jacarepaguá e Vila Militar – as quais possuem as duas maiores distâncias entre si – são, respectivamente, o terceiro e o primeiro no ranking das correlações. As distâncias, entretanto, não foram significativas o suficiente para validar a hipótese de que a região não é homogênea.

A análise de tendência permitiu perceber o comportamento cíclico da temperatura e da precipitação na região de estudo e, como mencionado, de maneira homogênea entre as estações. Mesmo em épocas onde algumas deixavam de registrar dados, o comportamento a longo prazo exibiu um padrão sazonal distinto, similar às flutuações registradas no PWV-GNSS.

A análise de correlação, por sua vez, deixou claro que a relação direta entre o vapor d'água e a precipitação são muito pouco correlacionadas, entretanto, a temperatura registra o dobro de correlação, ou seja, quanto mais úmido, mais quente tende a ser o dia, mas este fator não influencia tanto na precipitação da região.

Apesar dessas afirmações, a correlação foi definida como fraca a média-inferior segundo a escala de Cohen, o que indica que mais fatores estão vinculados à variabilidade climática na região, inclusive, sendo necessário um período mais longo de análise para identificar uma correlação entre eventos que esteja além da variabilidade natural dos fenômenos.

Todavia, é importante ressaltar e deixar como observação alguns detalhes que podem influenciar para a obtenção de resultados mais promissores:

Toda análise de séries temporais demanda, acima de tudo, um período de tempo longo. Quando se trata de clima e meteorologia, 2 anos de estudos e dados não são considerados suficientes para uma análise concreta da variabilidade climática de um local. O período recomendado pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas

Espaciais) para um estudo completo do clima em determinada área, a título de exemplo, é de 30 anos.

As variações no comportamento de fatores climáticos ocorrem em regiões muito mais amplas do que aquela abrangida nesta área de estudo, o que fica claro na similaridade entre os dados resultantes. Torna-se necessário então ampliar a rede de estações que se usa para validar as variáveis climáticas estudadas, ponderando as distâncias entre as estações de maneira a melhor ajustar as precisões e eventualmente retornar modelos climáticos mais confiáveis, utilizando a ampla rede de estações INMET e RBMC e para expandir cada vez mais o modelo climático. Estudos como este, ao lidar com um grande volume de dados, dependem de técnicas, ponderações e modelagem matemática cada vez mais robustas, e trabalhos como estes possibilitam insights de como essa tecnologia pode ir sendo modelada para aplicações futuras.

## REFERÊNCIAS

ANGELOCCI L. R; SENTELHAS, P. C; VARIABILIDADE, TENDÊNCIA, ANOMALIA E MUDANÇA CLIMÁTICA Material didático para Meteorologia Agrícola; Departamento de Engenharia de Biosistemas - Agrometeorologia - ESALQ/USP - 2010; Disponível em: <[http://www.leb.esalq.usp.br/leb/aulas/lce306/Variabilidade\\_e\\_mudanca\\_climatica.pdf](http://www.leb.esalq.usp.br/leb/aulas/lce306/Variabilidade_e_mudanca_climatica.pdf)> Acesso em 13/01/2022;

BADESCU, G. et. al. Some Aspects of Using Modern GNSS-RTK type technology in agriculture. In.:5th International Conference on Applied Economics, Business and Development (AEBD'13), 2013.Chania, Grécia. Anais ...Chania: AEBD'13, 2013, p. 252 - 258. Disponível em:<<http://www.wseas.us/e-library/conferences/2013/Chania/AEBDb/AEBDb-41.pdf>>. Acesso em: 13/01/2022

BARONI, L.; KUGA, H. K. Analysis of Attitude Determination Methods Using GPS Carrier Phase Measurements. Mathematical Problems in Engineering, v. 2012, p. 1-10, 2012. Disponível em: <<http://www.hindawi.com/journals/mpe/2012/596396/>>. Acesso em: 13/01/2022

BARRY, R. G.; CHORLEY, R. J.; Atmosfera, tempo e clima. Bookman: Porto Alegre, 2013.

BENEVIDES, P. J. S. da C. Estimação do campo tridimensional do vapor de água troposférico através de técnicas de tomografia por GNSS e InSAR. Tese (Doutorado em Engenharia Geográfica), Setor de Ciências Geofísicas e da Geoinformação, Universidade de Lisboa. 2016. Disponível em: <<http://repositorio.ul.pt/handle/10451/24856>>. Acesso em: 13/01/2022

CARMONA, E. C; TERRONE. C. C.; NASCIMENTO. J. M. F; ANGELIS, D. F; Importância da Água e suas propriedades para a Vida: Conexão Água – Ministério Público Federal. Artigos Científicos. 2016; Disponível em:<<https://conexaoagua.mpf.mp.br/arquivos/artigos-cientificos/2016/09-importancia-da-agua-e-suas-propriedades-para-a-vida-1.pdf>>. Acesso em Acesso em: 13/01/2022

CHOJEN, J. 1998. Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences, Second Edition. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

FERRARI, Antonio Luiz. Variabilidade e tendência da temperatura e pluviosidade nos municípios de Pirassununga, Rio Claro, São Carlos e São Simão (SP): Estudo sobre mudança climática de curto prazo em escala local. 2012. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

GARBER, Rogério. Análises de séries temporais. Oecologia Brasiliensis, v. 2, n. 1, p. 4, 1995.

GEMAEL, C. Introdução ao ajustamento de observações: aplicações geodésicas. 1.ed. Curitiba: Editora da UFPR, 1994. 319 p.

IBGE; RBMC - Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-sobre-posicionamento-geodesico/rede-geodesica/16258-rede-brasileira-de-monitoramento-contínuo-dos-sistemas-gnss-rbmc.html?=&t=o-que-e>>. Acesso em: 6 dez. 2021.

LI, Z. et. al. Comparison of precipitable water vapor derived from radiosonde, GPS, and Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer measurements. *Journal of Geophysical Research Atmosphere*, v. 108, n. D20. 2003. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/29818690>>. Acesso em: 13/01/2022

MARÍN, J. C. et. al. Estimating and forecasting the precipitable water vapour from GOES satellite data at high altitudes sites. *Astronomy and Astrophysics*, v. 573, n. A41, p. 1-10. 2015. Disponível em: <<https://www.aanda.org/articles/aa/ref/2015/01/aa24460-14/aa24460-14.html>>. Acesso em: 13/01/2022

MORETTIN, Pedro A.; TOLOI, Clélia M. Séries Temporais, Métodos Quantitativos. Atual, São Paulo, SP, 1987.

NARDEZ, Nassau de Nogueira. Obtenção do parâmetro PCO de antenas GNSS por meio de Sistemas Baseados em Regras Fuzzy. 2015.

PARANHOS, R.; FIGUEIREDO FILHO, D. B.; ROCHA, E. C. da; SILVA JÚNIOR, J.A. da; NEVES, J. A. B.; SANTOS, M. L. W. D. Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson: o Retorno. *Leviathan (São Paulo)*, [S. l.], n.8, p. 66-95, 2014. DOI: 10.11606/issn.2237-4485.lev.2014.132346. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/leviathan/article/view/132346>>. Acesso em: 6 dez. 2021.

SAPUCCI, L. F. Estimativa do vapor d'água atmosférico e avaliação da modelagem do atraso zenital troposférico utilizando GPS. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas), Setor de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente. 2001.

SAPUCCI, L. F. Estimativas do IWV utilizando receptores GPS em bases terrestres no Brasil: sinergia entre a geodésia e a meteorologia. Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas), Setor de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente. 2005.

SEEBER, G. *Satellite Geodesy*. 2a edição. Walter de Gruyter: Nova Iorque, 2003.

SIQUEIRA, Kelvin William de Souza. Análise da correlação espacial do PWV-GNSS visando a investigação de fenômenos atmosféricos: estudo de caso para a serra do mar paranaense. Universidade Federal do Paraná. 2020.

SIRGAS. SIRGAS-CON Network. 2022; Disponível em:  
<<https://www.sirgas.org/pt/sirgas-realizations/sirgas-con-network/>> Acesso em  
13/1/2022

SOBRINO, J. A. J. Surface temperature and water vapour retrieval from MODIS  
data. International Journal of Remote Sensing, v. 24, n. 1, p. 5161-5182. 2003.  
Tempo, INMET. Disponível em: <<https://tempo.inmet.gov.br/TabelaEstacoes>>.  
Acesso em: 6 dez. 2021.