

RAFAEL PEREIRA VICENTE

**INFLUÊNCIA DA SOLUÇÃO DA AMBIGUIDADE GPS NA QUALIDADE
POSICIONAL DO CSRS-PPP**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil para obtenção do título de *Magister Scientiae*

Orientador: William Rodrigo Dal Poz

Coorientador: Alessandro Salles Carvalho

VIÇOSA - MINAS GERAIS

2024

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa

T

V632i
2024 Vicente, Rafael Pereira, 1991-
Influência da solução da ambiguidade GPS na qualidade
posicional do CSRS-PPP / Rafael Pereira Vicente. – Viçosa,
MG, 2024.

1 dissertação eletrônica (130 f.): il. (algumas color.).

Inclui apêndice.

Orientador: William Rodrigo Dal Poz.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Engenharia Civil, 2024.

Referências bibliográficas: f. 120-126.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2024.594>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Sensoriamento remoto. 2. Sistema de Posicionamento
Global. 3. Satélites artificiais - Órbitas. 4. Geodésia. I. Dal Poz,
William Rodrigo, 1975-. II. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Engenharia Civil. Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Civil. III. Título.

CDD 22. ed. 621.3678

Bibliotecário(a) responsável: Euzébio Luiz Pinto CRB-6/3317

RAFAEL PEREIRA VICENTE

**INFLUÊNCIA DA SOLUÇÃO DA AMBIGUIDADE GPS NA QUALIDADE
POSICIONAL DO CSRS-PPP**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil para obtenção do título de *Magister Scientiae*

APROVADA: 07 de maio de 2024

Assentimento:



Documento assinado digitalmente

RAFAEL PEREIRA VICENTE

Data: 08/10/2024 09:44:31-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Rafael Pereira Vicente
Autor



Documento assinado digitalmente

WILLIAM RODRIGO DAL POZ

Data: 08/10/2024 08:39:45-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

William Rodrigo Dal Poz
Orientador

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus, pela força, saúde e pela oportunidade de chegar até este momento;

Aos meus pais, Iracy e Renato, à minha irmã, Isabela, e aos meus sobrinhos, Álvaro e Teresa, pelo constante apoio e confiança em mim, que foram pilares fundamentais em todos os momentos;

À Grazielli, pelo companheirismo, carinho e encorajamento nos momentos mais desafiadores;

À minha extensa família, cujo apoio incondicional foi um impulso valioso ao longo dessa jornada;

Ao professor William Rodrigo Dal Poz, pela orientação, disponibilidade, apoio durante a graduação e o mestrado, incentivo nos momentos difíceis, paciência e compartilhamento de conhecimento, sem os quais não teria chegado até aqui;

Ao professor Alessandro Salles Carvalho, pela coorientação, valiosas sugestões, paciência ao longo desta pesquisa e compartilhamento de conhecimento, que foram essenciais para a realização deste trabalho;

Aos professores João Olympio de Araújo Neto, Ítalo Oliveira Ferreira, Afonso de Paula dos Santos e César Henrique Barra Rocha, por compor a banca desta dissertação;

Aos demais professores que contribuíram para minha formação e ao coordenador do programa de pós-graduação em Engenharia Civil, pelo apoio;

Ao IBGE, por manter o serviço de PPP ativo e funcional, de enorme importância para os usuários no Brasil;

Ao NRCan, pela implementação da solução das ambiguidades no CSRS-PPP, viabilizando assim esta pesquisa;

Aos amigos que sempre estiveram presentes, oferecendo seu apoio e incentivo ao longo dessa jornada desafiadora;

Aos colegas de trabalho do Setor de Engenharia e da secretaria de obras da Prefeitura Municipal de Venda Nova do Imigrante/ES, pelo apoio e compreensão durante este período de estudos;

A todos aqueles que, mesmo não mencionados nominalmente, contribuíram de alguma forma para a realização deste objetivo.

RESUMO

VICENTE, Rafael Pereira, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, maio de 2024.
Influência da solução da ambiguidade GPS na qualidade posicional do CSRS-PPP. Orientador: William Rodrigo Dal Poz. Coorientador: Alessandro Salles Carvalho.

O Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) evidencia-se como alternativa ao método de posicionamento relativo. Trata-se de um método que faz uso das órbitas precisas e correções dos relógios de várias fontes, requer, para que se alcance alta acurácia, que a maioria das fontes de erros seja considerada ou modelada. Dessa forma, a principal desvantagem encontra-se no tempo de convergência da solução, definido como o tempo decorrido desde o início da coleta até a época em que a estimativa de posição do receptor atinge um determinado nível de precisão, não mais se desviando dele. Para se realizar o PPP de forma rápida, é necessário que as ambiguidades sejam solucionadas como números inteiros. No posicionamento relativo, a solução das ambiguidades, de modo geral, é realizada com a utilização das (DD) duplas diferenças. No PPP, por se tratar de apenas um receptor, não ocorre a formação da DD, dificultando a solução, como número inteiro, devido à presença dos atrasos não calibrados do código/fase do receptor e do satélite. Nos últimos anos, tem sido dada atenção por diferentes grupos de pesquisa, resultando em algumas metodologias, na tentativa de resolver este problema. Em 2020, o CSRS-PPP (*Canadian Spatial Reference System Precise Point Positioning*) operado pelo NRCan (*Natural Resources Canada*), a partir da versão 3.0, implementou o método DCM (*Decoupled Clock Model*) em seu serviço de posicionamento que soluciona as ambiguidades da constelação GPS (*Global Positioning System*). No Brasil, o IBGE-PPP realiza o serviço de posicionamento, que permite determinar coordenadas referenciadas ao Sistema Geodésico Brasileiro, sendo tal serviço concebido através de uma parceria com o NRCan. Entretanto, a versão utilizada no IBGE-PPP não permite a solução das ambiguidades. Diante do exposto, esta pesquisa pretendeu avaliar o desempenho da nova versão do CSRS-PPP, comparando-a com IBGE-PPP; analisou a solução das ambiguidades, as discrepâncias posicionais, precisões e RMSE (*Root Mean Square Error*) de cada componente do SGL (Sistema Geodésico Local) nos distintos intervalos de rastreamento (15, 30, 45, 60 e 120 minutos), utilizando-se de dados de seis estações da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS) em 30 dias

no clima úmido e 30 dias no clima seco. Ao utilizar dados, em regiões climáticas distintas, em termos de umidade, buscou avaliar se a modelagem troposférica pode influenciar na solução das ambiguidades. A partir dos resultados obtidos, foi possível perceber que a solução da ambiguidade implementada pelo CSRS-PPP apresentou melhorias expressivas e estatisticamente significativas, segundo teste de Wilcoxon Mann-Whitney, nas componentes e , n e up do sistema geodésico local, em comparação com IBGE-PPP. Também observamos melhores resultados na solução das ambiguidades (porcentagens) em clima seco, comparado ao clima úmido, resultando em componentes do SGL com menores discrepâncias e valores de RMSE no clima seco. Em relação à precisão, embora as obtidas no CSRS-PPP tenham demonstrado valores elevados nos curtos intervalos de rastreamento, como em 15 e 30 minutos, a discrepância e RMSE não refletiu este comportamento.

Palavras-chave: Posicionamento por Ponto Preciso (PPP); Solução das Ambiguidades; *Canadian Spatial Reference System Precise Point Positioning* (CSRS-PPP).

ABSTRACT

VICENTE, Rafael Pereira, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, May, 2024. **Influence of the GPS ambiguity resolution on the positional quality of CSRS-PPP**. Adviser: William Rodrigo Dal Poz. Co-adviser: Alessandro Salles Carvalho.

Precise Point Positioning (PPP) is an alternative to the relative positioning method. This method uses precise orbits and clock corrections from various sources and requires that the majority of error sources be considered or modeled to achieve high accuracy. Therefore, the main disadvantage lies in the solution convergence time, defined as the time elapsed from the beginning of the collection until the time when the estimated position of the receiver reaches a certain level of accuracy, no longer deviating from it. To perform the PPP quickly, the ambiguities must be resolved as vectors composed of integers. In relative positioning, ambiguities are generally resolved using (DD) double differences. Because there is only one receiver in PPP, DD does not occur, making difficult the solution as an integer, due to the presence of uncalibrated phase/code delays in the receiver and the satellite. In recent years, some methodologies have emerged in an attempt to solve this problem. In 2020, the CSRS-PPP (Canadian Spatial Reference System Precise Point Positioning) operated by NRCan (Natural Resources Canada), starting from version 3.0, implemented the DCM (Decoupled Clock Model) methodology in its positioning service that resolves the ambiguities of the GPS (Global Positioning System) constellation. In Brazil, IBGE-PPP performs the positioning service, which allows for determining coordinates referenced to the Brazilian Geodetic System. This service is designed through a partnership with NRCan. However, the version used by IBGE-PPP does not allow ambiguities to be resolved. Therefore, this study aimed to evaluate the performance of the new version of CSRS-PPP, comparing it with IBGE-PPP. The convergence time of the ambiguity solution, the accuracy and RMSE of each component of the SGL (Local Geodetic System) at different tracking intervals (15, 30, 45, 60 and 120 minutes) achieved were analyzed using data from the Brazilian Network for Continuous Monitoring of GNSS Systems (RBMC) over 30 days in wet weather and 30 days in dry weather. By using data from different climatic regions, in terms of humidity, we sought to evaluate whether tropospheric modeling can influence the solution of ambiguities. Employing the Wilcoxon Mann-Whitney test, the ambiguity solution implemented by CSRS-PPP

presented significant and statistical improvements in e, n, and up components of the local geodetic system when compared to IBGE-PPP. It was also possible to perceive better results in ambiguities resolution (percentages) in the dry climate about the humid climate, which culminated in better SGL components in terms of discrepancy and RMSE for the dry climate. Regarding precision, although those obtained in CSRS-PPP demonstrated high values, in short tracking periods, such as 15 and 30 minutes, the discrepancy and RMSE did not reflect this behavior.

Keywords: Precise Point Positioning (PPP); Ambiguity resolution; Canadian Spatial Reference System Precise Point Positioning (CSRS-PPP).

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produtos gerados pelo NRCan utilizados no IBGE-PPP	23
Tabela 2 - Produtos gerados pelo NRCan utilizados no CSRS-PPP	24
Tabela 3 - Parâmetros dos serviços IBGE-PPP e CSRS-PPP	33
Tabela 4 - Parâmetros de transformação utilizados pelo IBGE-PPP – ITRF X SIRGAS	41
Tabela 5 - p-value do Teste de Wilcoxon Mann-Whitney das discrepâncias entre Verão e Inverno (Estação AMCR).....	54
Tabela 6 - p-value do Teste de Wilcoxon Mann-Whitney das discrepâncias entre IBGE- PPP e CSRS-PPP (Estação AMCR)	55
Tabela 7 - p-value do Teste de Wilcoxon Mann-Whitney das precisões entre Verão e Inverno (Estação AMCR)	58
Tabela 8 - p-value do Teste de Wilcoxon Mann-Whitney das precisões entre IBGE- PPP e CSRS-PPP (Estação AMCR)	59
Tabela 9 - RMSE da estação AMCR.....	60
Tabela 10 - p-value do Teste de Wilcoxon Mann-Whitney das discrepâncias entre Verão e Inverno (Estação BRAZ).....	66
Tabela 11 - p-value do Teste de Wilcoxon Mann-Whitney das discrepâncias entre IBGE-PPP e CSRS-PPP (Estação BRAZ)	67
Tabela 12 - p-value do Teste de Wilcoxon Mann-Whitney das precisões entre Verão e Inverno (Estação BRAZ).....	69
Tabela 13 - p-value do Teste de Wilcoxon Mann-Whitney das precisões entre IBGE- PPP e CSRS-PPP (Estação BRAZ)	70
Tabela 14 - RMSE da estação BRAZ.....	71
Tabela 15 - p-value do Teste de Wilcoxon Mann-Whitney das discrepâncias entre Verão e Inverno (Estação CUIB)	77
Tabela 16 - p-value do Teste de Wilcoxon Mann-Whitney das discrepâncias entre IBGE-PPP e CSRS-PPP (Estação CUIB)	77
Tabela 17 - p-value do Teste de Wilcoxon Mann-Whitney das precisões entre Verão e Inverno (Estação CUIB)	80
Tabela 18 - p-value do Teste de Wilcoxon Mann-Whitney das precisões entre IBGE- PPP e CSRS-PPP (Estação CUIB)	81
Tabela 19 - RMSE da estação CUIB.....	82

Tabela 20 - p-value do Teste de Wilcoxon Mann-Whitney das discrepâncias entre Verão e Inverno (Estação PITN)	87
Tabela 21 - p-value do Teste de Wilcoxon Mann-Whitney das discrepâncias entre IBGE-PPP e CSRS-PPP (Estação PITN).....	88
Tabela 22 - p-value do Teste de Wilcoxon Mann-Whitney das precisões entre Verão e Inverno (Estação PITN).....	91
Tabela 23 - p-value do Teste de Wilcoxon Mann-Whitney das precisões entre IBGE-PPP e CSRS-PPP (Estação PITN)	92
Tabela 24 - RMSE da estação PITN	92
Tabela 25 - p-value do Teste de Wilcoxon Mann-Whitney das discrepâncias entre Verão e Inverno (Estação RJNI).....	97
Tabela 26 - p-value do Teste de Wilcoxon Mann-Whitney das discrepâncias entre IBGE-PPP e CSRS-PPP (Estação RJNI).....	98
Tabela 27 - p-value do Teste de Wilcoxon Mann-Whitney das precisões entre Verão e Inverno (Estação RJNI)	101
Tabela 28 - p-value do Teste de Wilcoxon Mann-Whitney das precisões entre IBGE-PPP e CSRS-PPP (Estação RJNI).....	102
Tabela 29 - RMSE da estação RJNI	102
Tabela 30 - p-value do Teste de Wilcoxon Mann-Whitney das discrepâncias entre Verão e Inverno (Estação SMAR)	108
Tabela 31 - p-value do Teste de Wilcoxon Mann-Whitney das discrepâncias entre IBGE-PPP e CSRS-PPP (Estação SMAR).....	109
Tabela 32 - p-value do Teste de Wilcoxon Mann-Whitney das precisões entre Verão e Inverno (Estação SMAR).....	111
Tabela 33 - p-value do Teste de Wilcoxon Mann-Whitney das precisões entre IBGE-PPP e CSRS-PPP (Estação SMAR)	112
Tabela 34 - RMSE da estação SMAR	113

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Precipitações trimestrais ao longo do ano no território brasileiro	37
Figura 2 - Mapa de distribuição das estações da RBMC que compõem o trabalho ..	38
Figura 3 - Fluxograma da edição e processamento dos dados nos serviços IBGE-PPP e CSRS-PPP	40
Figura 4 - Fluxograma da transformação de referencial e atualização das coordenadas geocêntricas de referência	44
Figura 5 - Fluxograma ilustrando os passos para obtenção das coordenadas geodésicas locais e precisões.....	47

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Porcentagem de Solução das Ambiguidades GPS no CSRS-PPP (Estação AMCR)	50
Gráfico 2 - Discrepâncias entre Verão e Inverno (Estação AMCR).....	52
Gráfico 3 - Precisão entre Verão e Inverno (Estação AMCR)	56
Gráfico 4 - Gráfico de barras dos valores de RMSE obtidos na estação AMCR.....	61
Gráfico 5 - Porcentagem de Solução das Ambiguidades GPS no CSRS-PPP (Estação BRAZ)	63
Gráfico 6 - Discrepâncias entre Verão e Inverno (Estação BRAZ).....	65
Gráfico 7 - Precisão entre Verão e Inverno (Estação BRAZ)	68
Gráfico 8 - Gráfico de barras dos valores de RMSE obtidos na estação BRAZ.....	72
Gráfico 9 - Porcentagem de Solução das Ambiguidades GPS no CSRS-PPP (Estação CUIB)	73
Gráfico 10 - Discrepâncias entre Verão e Inverno (Estação CUIB).....	75
Gráfico 11 - Precisão entre Verão e Inverno (Estação CUIB)	79
Gráfico 12 - Gráfico de barras dos valores de RMSE obtidos na estação CUIB.....	83
Gráfico 13 - Porcentagem de Solução das Ambiguidades GPS no CSRS-PPP (Estação PITN).....	84
Gráfico 14 - Discrepâncias entre Verão e Inverno (Estação PITN)	86
Gráfico 15 - Precisão entre Verão e Inverno (Estação PITN).....	89
Gráfico 16 - Gráfico de barras dos valores de RMSE obtidos na estação PITN	93

Gráfico 17 - Porcentagem de Solução das Ambiguidades GPS no CSRS-PPP (Estação RJNI).....	94
Gráfico 18 - Discrepâncias entre Verão e Inverno (Estação RJNI)	96
Gráfico 19 - Precisão entre Verão e Inverno (Estação RJNI).....	99
Gráfico 20 - Gráfico de barras dos valores de RMSE obtidos na estação RJNI.....	103
Gráfico 21 - Porcentagem de Solução das Ambiguidades GPS no CSRS-PPP (Estação SMAR).....	105
Gráfico 22 - Discrepâncias entre Verão e Inverno (Estação SMAR).....	107
Gráfico 23 - Precisão entre Verão e Inverno (Estação SMAR).....	110
Gráfico 24 - Gráfico de barras dos valores de RMSE obtidos na estação SMAR ...	114

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AR	<i>Ambiguity Resolution</i>
CGS	<i>Canadian Geodetic Survey</i>
CODE	<i>Center for Orbit Determination in Europe</i>
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
CSRS-PPP	<i>Canadian Spatial Reference System Precise Point Positioning</i>
DCM	<i>Decoupled Clock Model</i>
DD	Dupla Diferença
DGFI	<i>Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut</i>
DOY	<i>Day of Year</i>
ECMWF	<i>European Centre for Medium-Range Weather Forecasts</i>
GLONASS	<i>GLOBAL NAVIGATION Satellite System</i>
GMF	<i>Global Mapping Function</i>
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GPT	<i>Global Pressure and Temperature</i>
GPT2	<i>Global Pressure and Temperature 2</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDLE	<i>Integrated Development and Learning Environment</i>
IF	<i>Ion-Free</i>
IGS	<i>International GNSS Service</i>
IMF	<i>Isobaric Mapping Functions</i>
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IRC	<i>Integer Recovery Clock</i>
ITRF	<i>International Terrestrial Reference Frame</i>
MW	<i>Melbourne-Wübbena</i>
NL	<i>Narrow-Lane</i>
NMF	<i>Niell Mapping Function</i>
NRCan	<i>Natural Resources Canada</i>
PPP	Posicionamento por Ponto Preciso
PPP-AR	Posicionamento por Ponto Preciso com Solução da Ambiguidade
RBMC	Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS

REMQ	Raiz do Erro Médio Quadrático
RINEX	<i>The Receiver-Independent Exchange Format</i>
RMS	<i>Root Mean Square</i>
RMSE	<i>Root Mean Square Error</i>
SD	Simple Diferença
SGL	<i>Sistema Geodésico Local</i>
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
TEQC	<i>Translation, Editing and Quality Checking</i>
UPD	<i>Uncalibrated phase delays</i>
UTC	<i>Universal Time Coordinated</i>
VMF	<i>Vienna Mapping Function</i>
WL	<i>Wide-Lane</i>
ZHD	<i>Zenith Hydrostatic Delay</i>
ZTD	<i>Zenith Tropospheric Delay</i>
ZWD	<i>Zenith Wet Delay</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS	20
2.1	OBJETIVO GERAL.....	20
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
3	JUSTIFICATIVA	21
4	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	23
4.1	POSICIONAMENTO POR PONTO PRECISO	23
4.1.1	Solução das Ambiguidades no PPP	25
4.1.2	Troposfera	29
4.1.3	Serviços de Processamento	32
4.2	TESTE DE WILCOXON MANN-WHITNEY	34
5	MATERIAIS E MÉTODOS	36
5.1	MATERIAIS	36
5.2	MÉTODOS	36
5.2.1	Definição das estações.....	38
5.2.2	Edição e processamento	39
5.2.2.1	Compatibilização de referencial e época das coordenadas de referência	40
5.2.2.2	Sistema Geodésico Local	44
5.2.2.3	RMSE	47
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
6.1	ESTAÇÃO AMCR	49
6.2	ESTAÇÃO BRAZ	63
6.3	ESTAÇÃO CUIB	73
6.4	ESTAÇÃO PITN	84
6.5	ESTAÇÃO RJNI.....	94
6.6	ESTAÇÃO SMAR	105
7	CONCLUSÃO	116
	REFERÊNCIAS	120
	APÊNDICE A – ALGORITMO PARA TABULAÇÃO DE DADOS PROCESSADOS NO IBGE-PPP E CSRS-PPP	127

1 INTRODUÇÃO

O Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) tornou-se um método de posicionamento GNSS (*Global Navigation Satellite System*) bastante utilizado nas Geociências (ROCKEN *et al.*, 2005; LEANDRO *et al.*, 2011; BLEWITT *et al.*, 2016; GENG *et al.*, 2019; ELHSEKN, 2023).

Apresentado por Zumberge *et al.* (1997), o PPP trouxe uma abordagem utilizando observações de fase da onda portadora e pseudodistância dos satélites GPS (*Global Positioning System*), em que não existe a necessidade, por parte do usuário, de aquisição simultânea de dados a partir de uma estação de referência (base), característica do posicionamento relativo. O método ainda faz uso das órbitas e correções precisas dos relógios dos satélites, chegando a resultados que podem apresentar acurácia centimétrica (KOUBA *et al.*, 2017).

Apesar das potencialidades que a metodologia alcança, uma limitação da aplicação do PPP refere-se ao tempo de convergência da solução para atingir a precisão de posicionamento de nível centimétrico (SEEPERSAD e BISNATH, 2013).

Para se realizar o PPP, com alta acurácia e de forma rápida, é necessário que as ambiguidades sejam solucionadas como números inteiros (*Ambiguity Resolution - AR*). Ambiguidade é o termo usado para representar o número inteiro de ciclos entre o satélite e o receptor no instante da primeira observação e, neste contexto, a principal questão é levar em conta a influência dos componentes não calibrados do atraso do código e da fase nos satélites e nos receptores (LIMA *et al.*, 2016; BLEWITT, 1989). Alves (2010) destaca que outros termos são utilizados na literatura, tais como: atraso de fase não calibrado e atraso de *hardware* não calibrado.

Kouba *et al.*, (2017) destaca que os dois principais benefícios da fixação da ambiguidade como números inteiros refletem na precisão do posicionamento, especificamente para componente leste e uma redução do período de convergência da solução no PPP.

Banville *et al.* (2021) destaca que a solução das ambiguidades no PPP apresenta melhorias de 70% no *Root Mean Square Error* (RMSE) da componente leste em intervalo de rastreamento de 90 minutos.

Já os métodos para solucionar a ambiguidade no PPP variam em termos das estratégias utilizadas para separar os atrasos de *hardware* não calibrado das

ambiguidades inteiras. As soluções propostas requerem informações externas, além dos produtos usuais de órbita e relógio de satélite (KOUBA *et al.*, 2017).

Desde 2007, vários pesquisadores progrediram no desafio de solucionar as ambiguidades no processamento do PPP. Em geral, podem ser citadas três metodologias, sendo elas, o “Modelo de Separação dos Relógios” (DCM - *Decoupled Clock Model*) (COLLINS *et al.*, 2010); o “Método da Estimativa dos UPDs (*Uncalibrated phase delays*)” (GE *et al.*, 2008) e o “Método da Recuperação dos Relógios” (IRC - *Integer Recovery Clock*) (LAURICHESSE *et al.*, 2009).

Existem inúmeros serviços e pacotes de *software* disponíveis para o usuário realizar o PPP, alguns dos quais são gratuitos. Dentre estes, podem ser citados como exemplos o CSRS-PPP (*Canadian Spatial Reference System Precise Point Positioning*) (GREWAL *et al.*, 2020). No Brasil podemos citar como exemplo o IBGE-PPP (IBGE, 2023).

O CSRS-PPP, que é operado pelo NRCAN (*Natural Resources Canada*), realizou uma atualização para a versão 3.0 do *software* SPARK, habilitando a solução das ambiguidades na constelação GPS para dados coletados a partir de janeiro de 2018. Cabe destacar que o CSRS-PPP com solução das ambiguidades baseia-se na metodologia DCM proposta por Collins *et al.* (2010) (NRCAN, 2020). Neste contexto, o PPP é denominado PPP-AR

No Brasil, o IBGE-PPP realiza o serviço de processamento *online* e de forma gratuita, o qual permite determinar coordenadas referenciadas ao Sistema Geodésico Brasileiro no referencial SIRGAS 2000, época 2000.4. Ele foi concebido através da parceria entre a Coordenação de Geodésia do IBGE e o CGS (*Canadian Geodetic Survey*) do NRCAN e faz uso do *software* GPSPACE, versão 1.05/11216, bem como das órbitas precisas e correções dos relógios dos satélites disponibilizados pelo IGS e NRCAN (IBGE, 2023). Contudo, cabe destacar que a partir de fevereiro de 2024 o IBGE-PPP passou a utilizar informações dos satélites produzidas pelo CODE (*Center for Orbit Determination in Europe*) e ultra rápidas fornecidas pelo NRCAN (IBGE, 2024).

Vale ressaltar que a versão que está implementada no IBGE-PPP atualmente (2024) não possibilita solução das ambiguidades.

Além da influência dos atrasos de *hardware* não calibrados na solução das ambiguidades, há também a influência das camadas da atmosfera terrestre, isto é troposfera e ionosfera. A quantidade de gases hidrostáticos e vapor d`água presente

na atmosfera neutra causam uma refração nos sinais GNSS, onde a componente úmida pode ser estimado como incógnita no ajustamento, ou mitigada a partir da utilização de modelos troposféricos. Quando esta modelagem não funciona de forma adequada, o atraso residual causado pela troposfera pode provocar um erro sistemático que influencia na solução das ambiguidades e, conseqüentemente, na precisão e acurácia do posicionamento e no intervalo de rastreo (SHI, 2012). Por outro lado, com observações de duas portadoras, os efeitos de primeira ordem da ionosfera são eliminados. Os efeitos de segunda e terceira ordens podem ser ignorados no CSRS-PPP (BANVILLE *et al.*, 2021).

No CSRS-PPP é esperado acurácia milimétrica para longos tempos de rastreo (24 horas ou mais), e de até poucos centímetros para o intervalo de 1 hora (NRCAN, 2020). Assim, esta pesquisa apresentou como principal motivação avaliar o potencial da nova versão implementada no CSRS-PPP com intervalos de rastreo menores, considerando o PPP-AR.

Neste contexto, alguns trabalhos têm sido desenvolvidos. Alves *et al.* (2011) investigou a solução das ambiguidades, com enfoque no tempo de rastreo, utilizando o algoritmo Ambizap (soluções rápidas das ambiguidades), desenvolvido por Blewitt (2008). Verificou-se que o RMSE do posicionamento pode melhorar após a solução das ambiguidades dentro do intervalo de até uma hora.

Lima *et al.* (2016), comparou as coordenadas obtidas do processamento com solução das ambiguidades com coordenadas de processamento PPP sem solução das ambiguidades. Utilizou-se do *software* RT_PPP (MARQUES *et al.*, 2014) que realiza PPP em modo convencional, com ambiguidades *float*, e implementou a solução da ambiguidade, utilizando o método proposto por GE *et al.* (2008) no *software* citado. A porcentagem de melhoria do RMSE na versão implementada com solução da ambiguidade foi significativamente superior para a componente leste em relação às demais.

Goudarzi *et al.* (2017) avaliou o PPP com e sem solução das ambiguidades de estações localizadas no Canadá. Para isso, utilizou-se de uma versão experimental do CSRS-PPP e concluiu que a solução pode apresentar uma melhora significativa, também com destaque na componente leste.

Geng *et al.* (2019) elaborou uma pesquisa comparativa da solução das ambiguidades no posicionamento, utilizando-se do PRIDE PPP AR, que é um *software* de código aberto que implementou solução das ambiguidades GPS no PPP. Ao

analisar o RMSE habilitando a solução das ambiguidades, obteve uma melhora em todas as componentes (e, n e up), com destaque de 49% de melhora no posicionamento na componente leste.

Theodoro (2020) estimou os impactos dos diferentes tipos de correções troposféricas na solução das ambiguidades do PPP, utilizando o software RTKLIB v. 2.4.2. Observou que houve uma significativa influência da estimativa da componente úmida na qualidade do PPP-AR; verificou que no período do verão os resultados ficaram menos acurados do que no período do inverno, devido a maior umidade em uma estação do ano comparada à outra.

Atiz e Kalayci (2021) utilizou 47 estações da rede IGS (*International GNSS Service*) distribuídas nos continentes, e fez uma comparação das acurácias obtidas no processamento com o CSRS-PPP sem AR, e com AR habilitado. Concluiu que para a componente leste a melhora em termos de acurácia obtidas pelo processamento com solução da ambiguidade chegou a 45%.

Mutlu *et al.*, (2023) investigou o potencial da implementação da solução das ambiguidades no CSRS-PPP, valendo-se de 5 estações GNSS da rede IGS localizadas na região da Turquia. Em seu trabalho, foi dividido intervalos de rastreamento de 1, 2, 4, 8 e 12 horas para cada estação. Foi detectado uma melhora de 50% nos valores de RMSE planimétrico nos intervalos de rastreamento 1 e 2 horas para os dados processados com a implementação da AR.

Diante do exposto, a presente pesquisa buscou dar sequência aos experimentos que empregam a solução das ambiguidades no PPP, concentrando-se especialmente na versão mais recente adotada pelo CSRS-PPP, analisando as possíveis melhorias que pode alcançar em comparação com o método utilizado pelo IBGE-PPP que não utiliza a solução da ambiguidade.

Nenhuma destas pesquisas apresentou uma análise integrada do processamento utilizando o CSRS-PPP, que implementou a solução das ambiguidades GPS em seu *software*, com estações da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo) distribuídas por todo território brasileiro.

Vale ressaltar que o território brasileiro apresenta dimensões continentais e variações climáticas acentuadas, a região Amazônica, por exemplo, apresenta característica muito úmida, como detectado por Braga (2018), o que pode acarretar numa dificuldade para a solução das ambiguidades.

Outra característica que as pesquisas apresentadas não contemplaram são as análises de diversos intervalos de rastreo, nomeadamente 15, 30, 45, 60 e 120 minutos durante 30 dias no clima úmido e 30 dias no clima seco.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o desempenho da nova versão que foi implementada no CSRS-PPP, a versão 3.0, a qual introduziu a solução das ambiguidades para constelação GPS e compará-la ao IBGE-PPP em diferentes cenários.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Visando atingir o objetivo geral deste trabalho, são apresentados os seguintes objetivos específicos:

- Analisar as soluções das ambiguidades, nos diversos intervalos de rastreamento (15, 30, 45, 60 e 120 minutos) e detectar possíveis efeitos da troposfera nos resultados obtidos com PPP-AR no CSRS-PPP, com uso de dados de, pelo menos 30 dias, em regiões climáticas distintas em termos de umidade;
- Avaliar as discrepâncias e precisões das componentes e , n , up obtidas no processamento com IBGE-PPP e CSRS-PPP (PPP-AR) entre o clima úmido (verão) e clima seco (inverno);
- Comparar as discrepâncias e precisões das componentes e , n , up obtidas no IBGE-PPP com as obtidas no CSRS-PPP (PPP-AR);
- Comparar o RMSE das componentes e , n , up obtidos em ambos os serviços de processamento entre o clima úmido e clima seco nos intervalos de rastreamento distintos.

3 JUSTIFICATIVA

A disponibilidade de órbitas precisas e correções dos relógios dos satélites, de várias fontes, proporcionou a oportunidade de desenvolver e implementar serviços de posicionamento baseados em PPP. Os serviços PPP pós-processados para posicionamento estático e cinemático estão provando ser particularmente úteis e eficientes e vêm sendo adotados por vários países como uma forma eficaz de complementar e reduzir o alto investimento da infraestrutura de densas redes de monumentos geodésicos (KOUBA *et al.*, 2017).

O posicionamento PPP-AR habilitado pelo NRCan, segundo Banville *et al.* (2021), apresentou melhorias de 40%, 70% e 20% no RMSE para as componentes latitude, longitude e altitude com intervalo de rastreamento de 90 minutos para posicionamento estático. Já com sessões de 24h, o benefício para componente longitude apresenta uma redução de 40% do RMSE.

Desta forma, este trabalho se justifica ao realizar uma análise das discrepâncias, das precisões e RMSE dos resultados obtidos no processamento da nova versão do CSRS-PPP, que incorpora a solução de ambiguidades GPS. Esta análise será comparada com o método utilizado pelo IBGE-PPP, que ainda não adota esta solução em seu processamento. Tal comparação evidenciará a possibilidade de redução no intervalo de rastreamento de dados GNSS para alcançar acurácias centimétricas por meio do CSRS-PPP.

Além disso, esta pesquisa teve o potencial de recomendar a utilização do CSRS-PPP para PPP por usuários do Brasil, ou ainda recomendar a possível atualização do IBGE-PPP para o *software* SPARK na versão 3.0 que habilita o PPP-AR. Isso teria impactos na relação custo-benefício na coleta dos dados.

Braga (2018) concluiu que foram notados maiores valores de RMSE da acurácia altimétrica para estações localizadas na região norte, em função da alta umidade desta região, o que pode inclusive impactar no tempo de convergência da solução da ambiguidade.

Gratton *et al.* (2021) diz que uma vez que as ambiguidades são solucionadas como número inteiro, elas podem ser removidas dos parâmetros estimados, melhorando assim as observações de todos os parâmetros, incluindo o atraso troposférico total (ZTD).

Assim, a utilização de dados de estações em regiões climáticas distintas teve também o potencial de aferir os possíveis efeitos dos climas úmidos e secos na componente úmida do atraso troposférico e o impacto gerado na solução das ambiguidades.

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 POSICIONAMENTO POR PONTO PRECISO

Para o PPP é necessário o uso de efemérides precisas e correções dos relógios dos satélites com alta precisão, podendo utilizar-se de dados coletados por receptores de uma ou duas frequências, dependendo da disponibilidade e da precisão requerida (HOFMANN-WELLENHOF *et al.*, 2008).

O PPP utiliza órbitas e correções precisas dos relógios dos satélites, que são fornecidas gratuitamente por entidades como o IGS (HOFMANN-WELLENHOF *et al.*, 2008). Requer também, para que se alcance alta acurácia, que a maioria das fontes de erros sejam consideradas ou modeladas, como os efeitos relacionados aos satélites, ao receptor, aos atrasos ionosféricos e troposféricos, à relatividade, dentre outros (CAI e GAO, 2013).

Assim como o IGS, o NRCan produz três tipos de efemérides e correções para os relógios. A Tabela 1 apresenta a relação dos produtos gerados pelo NRCan utilizados no IBGE-PPP no momento do processamento dos dados desta pesquisa, enquanto a Tabela 2 apresenta a relação dos produtos utilizados pelo CSRS-PPP. Contudo, as informações relacionadas aos produtos utilizados pelo IBGE atualmente não são mais produzidas pelo NRCan, conforme descrito na introdução. Como os dados utilizados nesta pesquisa foram coletados em 2021, optou-se em mostrar a comparação entre os serviços considerando o cenário da época. A partir de 2024 o IBGE passou a utilizar os produtos disponibilizados pelo CODE (*Center for Orbit Determination in Europe*) (IBGE, 2024).

Tabela 1 - Produtos gerados pelo NRCan utilizados no IBGE-PPP

Tipo	Código	Acurácia	Latência	Intervalo
Ultrarrápida	EMU	Órbitas $\pm 15\text{cm}$	1:30 – 2:30 horas	15 min
Rápida	EMR	Órbitas $\pm 5\text{cm}$	12 – 36 horas	15 min
Final	EMF	Órbitas $\pm 2\text{cm}$	11 – 17 dias	15 min

Fonte: Adaptado de IBGE (2023).

Tabela 2 - Produtos gerados pelo NRCan utilizados no CSRS-PPP

Tipo	Código	Latência	Disponibilidade
Ultrarrápida	DCU	60 minutos	horário
Rápida	DCR	12 – 18 horas	diário
Final	DCF	12 – 15 dias	semanal

Fonte: Adaptado de Banville *et al.* (2021).

Destaca-se que não foram encontradas as acurácias das órbitas utilizadas pelo CSRS-PPP.

A principal desvantagem do PPP encontra-se no tempo de convergência da solução, definido como o tempo decorrido, desde o início da coleta de dados até a época em que a estimativa da posição do receptor atinge um determinado nível de precisão, não mais se desviando dele (KOUBA *et al.*, 2017). Este tempo de convergência está diretamente ligado ao nível de ruído da pseudodistância no receptor e do local em que o posicionamento está sendo realizado (nível de multicaminho, ionosfera, modelo de antena, geometria dos satélites) (SETTI JÚNIOR *et al.*, 2020).

No modelo funcional do PPP, utilizando receptores de dupla frequência, pode-se utilizar a combinação linear livre dos efeitos da ionosfera (*ion-free*) para eliminar o efeito ionosférico de primeira ordem. Com relação aos efeitos ionosféricos de ordem superior, estes podem ser corrigidos a partir de modelos matemáticos (HERNÁNDEZ-PAJARES *et al.*, 2007). Contudo, na implementação atual, as correções ionosféricas de ordem superior não são aplicadas no CSRS-PPP (BANVILLE *et al.*, 2021).

No PPP convencional, com soluções da ambiguidade *float*, a solução da ambiguidade fixa não é implementada devido à presença dos atrasos de *hardware* não calibrado. Além da órbita precisa do satélite e da correção do relógio, os centros de análise também passaram a fornecer informações adicionais para obter uma solução fixa da ambiguidade no PPP (HÅKANSSON *et al.*, 2017). No CSRS-PPP, que utiliza o método DCM para solucionar as ambiguidades, o NRCan provê as correções para os relógios dos satélites separadas para o código e a fase, diferente do convencional adotado pelo IGS, onde a correções dos relógios dos satélites é a mesma para o código e para a fase (SHI, 2012).

4.1.1 Solução das Ambiguidades no PPP

No caso do posicionamento relativo, a solução das ambiguidades, de modo geral, é realizada com a utilização das duplas diferenças (DD) das observáveis de fase, em que a maioria dos erros são eliminados, considerando linhas de base curtas, normalmente menores do que 20km. No PPP, por se tratar de apenas um receptor, não é possível utilizar as duplas diferenças de fase da onda portadora, dificultando a solução fixa das ambiguidades devido à presença dos atrasos não calibrados de código e fase de *hardware* originados no satélite e receptor (LIMA *et al.*, 2016; BLEWITT, 1989).

Estudos mostraram que os atrasos de *hardware* não calibrado são absorvidos pelas ambiguidades fazendo com que estas percam sua característica de número inteiro (GE *et al.*, 2008; BLEWITT, 1989).

Segundo Kouba *et al.* (2017), nos últimos anos, muita atenção tem sido dada por diferentes grupos de pesquisa para resolver este problema e algumas metodologias foram desenvolvidas, tais como o “*Decoupled Clock Model*” (DCM) de (COLLINS *et al.*, 2010), o Método da Estimativa dos UPDs (GE *et al.*, 2008) e o “*Integer Recovery Clock*” (IRC) de (LAURICHESSE *et al.*, 2009).

Shi e Gao (2014) realizaram uma comparação entre os métodos, exemplificando as diferenças entre eles. Concluíram que as três metodologias forneceram resultados equivalentes, quando as ambiguidades da fase foram determinadas por valores inteiros.

A mesma abordagem utilizada pelos centros de análises que provêm produtos como órbitas pós-processadas e correções para os relógios dos satélites deve ser aplicada para solucionar as ambiguidades no PPP. No caso, o CSRS-PPP com solução das ambiguidades baseia-se no modelo DCM. Portanto, o modelo funcional do DCM será apresentado a seguir.

As equações da combinação linear *ion-free (GPS)*, em metros, para a pseudodistância e fase da onda portadora, podem ser expressas por (COLLINS *et al.*, 2010):

$$P_{IF} = \rho + c \cdot (dt^r - dt^s) + T_{r_0}^s + b_{P,IF}^r - b_{P,IF}^s + \epsilon_{P,IF} \quad (1)$$

$$L_{IF} = \rho + c \cdot (dt^r - dt^s) + T_{r_0}^s - \lambda_{IF} \cdot N_{IF} + b_{L,IF}^r - b_{L,IF}^s + \epsilon_{L,IF} \quad (2)$$

Em que:

- P_{IF} - Observável *ion-free* da pseudodistância;
- L_{IF} - Observável *ion-free* da fase;
- ρ - Distância geométrica entre o centro de fase da antena do receptor, no instante de recepção do sinal, e do satélite s no instante de transmissão do sinal;
- dt^r - Erro do relógio do receptor no instante de recepção t_r em relação ao tempo GPS;
- dt^s - Erro do relógio do satélite no instante de transmissão t^s em relação ao tempo GPS;
- c - Velocidade da luz no vácuo;
- $T_{r_0}^s$ - Atraso troposférico a priori;
- $b_{P,IF}^r$ - Atrasos não calibrados dos códigos para receptor (UCD);
- $b_{P,IF}^s$ - Atrasos não calibrados dos códigos para o satélite (UCD);
- $\epsilon_{P,IF}$ - Outras correções e erros aleatórios ou quase aleatório do código;
- $b_{L,IF}^r$ - Atrasos não calibrados da fase para receptor (UPD);
- $b_{L,IF}^s$ - Atrasos não calibrados da fase para o satélite (UPD);
- N_{IF} - Ambiguidade da observável *ion-free* (número real);
- λ_{IF} - Comprimento de onda da frequência;
- $\epsilon_{L,IF}$ - Outras correções e erros aleatórios ou quase aleatório da fase.

Nas equações 1 e 2, o erro do relógio do receptor deve ser estimado com os outros parâmetros, no ajustamento dos dados, bem como, as coordenadas da estação, correção residual da troposfera e o vetor de ambiguidades. Salienta-se que nem todos os erros foram introduzidos nas equações supracitadas.

As equações 1 e 2 representam o denominado modelo de observação padrão do PPP (COLLINS *et al.*, 2010). Em outras palavras, no modelo padrão não é possível solucionar as ambiguidades como números inteiros.

O termo de ambiguidade no PPP tem valor real, uma vez que absorve os atrasos não calibrados do código/fase do receptor e do satélite. Portanto, produtos de fase/relógio adicionais (tendências) são necessários para solucionar a ambiguidade como número inteiro no PPP-AR.

O modelo DCM introduzido por Collins *et al.* (2010) inclui outra combinação linear chamada *Melbourne-Wübbena* (MW) além das combinações IF (MELBOURNE, 1985; WÜBBENA, 1985). A combinação MW é a diferença entre a fase de *wide-lane* (WL) e observações de código *narrow-lane* (NL).

Os comprimentos de onda das combinações WL e NL podem ser escritos da seguinte forma (ATIZ E KALAYCI, 2021):

$$\lambda_{WL} = \frac{c}{f_1 - f_2}; \lambda_{NL} = \frac{c}{f_1 + f_2} \quad (3)$$

Em que:

- λ_{WL} - Comprimento de onda WL;
- λ_{NL} - Comprimento de onda NL;
- f_1 - Frequência da portadora L1;
- f_2 - Frequência da portadora L2.

Como exemplo para as frequências, podem ser citados GPS L1: 1575,42 MHz e GPS L2: 1227,60 MHz. Sendo a combinação linear MW igual a diferença entre WL e NL. Após algumas etapas, chega-se à seguinte expressão:

$$MW = -\lambda_{WL} \cdot N_{WL} + b_{MW}^r - b_{MW}^s + \epsilon_{MW} \quad (4)$$

Em que:

N_{WL}	- Ambiguidade WL;
λ_{NL}	- Comprimento de onda NL;
b_{MW}^r	- Tendência do receptor;
b_{MW}^s	- Tendência do satélite;
ϵ_{MW}	- Erro não modelado da combinação MW.

O PPP utilizando o modelo DCM introduzido por Collins *et al.* (2010), apresenta-se como parâmetros desconhecidos os seguintes dados (ATIZ E KALAYCI, 2021):

$$X = [\bar{x}, T_{r_0}^s, dt^r, dt^s, b_*^r, b_*^s, \widetilde{N}_{WL}, \widetilde{N}_{IF}] \quad (5)$$

Em que:

\bar{x}	- Vetor atual da posição do receptor;
b_*^r	- Tendência da observação da fase/código do receptor;
b_*^s	- Tendência da observação da fase/código do satélite;
\widetilde{N}_{WL}	- Ambiguidade WL;
\widetilde{N}_{IF}	- Ambiguidade da observável <i>ion-free</i> .

Como o número de parâmetros desconhecidos é maior que o número de observações é necessária uma abordagem em duas etapas que se constitui de reconstrução de parâmetros e introdução de dois novos dados. Primeiro, a ambiguidade IF na eq. (2) é apresentada da seguinte forma (ATIZ E KALAYCI, 2021):

$$\lambda_{IF} \cdot N_{IF} = \lambda_{IF} \cdot (17N_1 + 60N_{WL}) \quad (6)$$

Em que:

N_1	- Ambiguidade da fase na portadora L1.
-------	--

Desta forma, temos uma relação entre as ambiguidades das combinações lineares WL, NL e IF. Sendo assim, desta forma têm-se (ATIZ E KALAYCI, 2021):

$$P_{IF} = \rho + c \cdot (dt_{P,IF}^r - dt_{P,IF}^s) + T_{r_0}^s + \epsilon_{P,IF} \quad (7)$$

$$L_{IF} = \rho + c \cdot (dt_{L,IF}^r - dt_{L,IF}^s) + T_{r_0}^s - \lambda_{IF} \cdot (17N_1 + 60N_{WL}) + \epsilon_{L,IF} \quad (8)$$

De acordo com Shi e Gao (2014), o método DCM compreende as equações 7, 8 e a equação 9 descrita a seguir.

$$MW = (b_{MW}^r - b_{MW}^s) - \lambda_{WL} \cdot N_{WL} + \epsilon_{MW} \quad (9)$$

Em que:

$$\begin{aligned} dt_{P,IF}^r - dt_{P,IF}^s & - \text{Parâmetros dos relógios e dos satélites e receptor} \\ dt_{L,IF}^r - dt_{L,IF}^s & \text{desacoplados;} \\ b_{MW}^r - b_{MW}^s & \end{aligned}$$

De acordo com Shi e Gao (2014), considerando as três equações do modelo, o número de parâmetros é maior do que o número de observações. A solução para isso consiste em fixar um número mínimo de parâmetros. Além disso, deve contar com a interoperabilidade de produtos IGS para aplicação do PPP-AR, a fim de fornecer produtos de tendências de *hardware* e correções dos relógios dos satélites (arquivos no formato *Bias-SINEX*) (BANVILLE *et al.*, 2020). Inclusive, para essa tarefa, o IGS conta com o grupo de trabalho PPP-AR (PPP-AR *Working Group*), estabelecido em 2018 (IGS, 2024).

4.1.2 Troposfera

A refração troposférica refere-se ao atraso na trajetória do sinal eletromagnético causada pela parte não ionizada (neutra) da atmosfera terrestre (SANZ SUBIRANA *et al.*, 2013). O comportamento observado na ionosfera, onde a fase é atrasada e o código é avançado, não se aplica a troposfera. Na troposfera, tanto a fase quanto o código dos sinais GNSS são atrasados.

Como este atraso não depende da frequência, então a refração troposférica não pode ser removida pela combinação entre as portadoras, como ocorre na ionosfera. Desta forma, uma maneira de mitigar o efeito troposférico é usar modelos (LEICK *et al.*, 2015).

Dentre os efeitos causados na propagação do sinal devido à troposfera, o atraso troposférico corresponde à maior perturbação nos sinais GNSS, ocasionado

pela influência da atmosfera hidrostática (composta por gases secos) e a úmida (vapor de água e a água condensada na forma de nuvens) (BRAGA, 2018).

A componente hidrostática é a maior fonte de erro no atraso troposférico, com um efeito maior de aproximadamente 2,3 metros no zênite e está relacionada, sobretudo, à quantidade de oxigênio e nitrogênio. Ela pode ser obtida a partir de medidas meteorológicas locais de superfície, ou através de um modelo de Previsão Numérica de Tempo, ou com base no modelo de pressão e temperatura como o GPT (*Global Pressure Temperatura*) (KOUBA, 2008).

Já a componente úmida tem um efeito menor, variando de 1 a 35 cm no zênite. No entanto, sua variabilidade é mais elevada, atingindo cerca de 20% em poucas horas, o que dificulta sua modelagem. (SEEBER, 2003; SAPUCCI *et al.*, 2004; MONICO, 2008).

O sinal de uma fonte de rádio emitido por satélite, recebido por uma antena localizada na superfície terrestre, é refratado pela atmosfera neutra, introduzindo um atraso que depende do índice de refração ao longo do caminho percorrido pelo sinal.

Assumindo-se a simetria azimutal da atmosfera em relação à antena receptora, este atraso está relacionado ao perfil vertical da atmosfera e ao ângulo de elevação da fonte de rádio. Esta dependência é descrita pela função de mapeamento (DAVIS *et al.*, 1985; NIELL, 1996; GOUVEIA, 2019; THEODORO, 2020).

Para destacar esta relação de dependência com o ângulo de elevação, o atraso troposférico é calculado multiplicando-se o atraso na direção zenital pelo valor obtido a partir de uma função de mapeamento específica, conforme expresso na equação 10 (BRAGA, 2018):

$$SPD(\epsilon) = f_{dry}(\epsilon) \cdot ZHD + f_{wet}(\epsilon) \cdot ZWD \quad (10)$$

Em que:

- SPD - Atraso troposférico inclinado ao longo do ângulo de elevação (ϵ);
- f_{dry} - Função de mapeamento hidrostática;
- f_{wet} - Função de mapeamento úmida;
- ZHD - Atraso hidrostático do zênite;
- ZWD - Atraso úmido do zênite.

Sintetizando, a componente hidrostática do atraso troposférico (ZHD) é completamente absorvida por um modelo a priori, representado por T_r^s nas equações 1 e 2. Já a componente úmida (ZWD) é predita juntamente com os outros parâmetros (BRAGA, 2018).

A função de mapeamento troposférico é responsável por converter o atraso troposférico medido no zênite para direções inclinadas desejadas. Geralmente, esta conversão é realizada de forma separada (conforme mostra a equação 10) para as componentes hidrostática e úmida (KOUBA, 2008; BRAGA, 2018).

No IBGE-PPP, os dados meteorológicos de superfície, como temperatura (°C), pressão (Mb) e umidade relativa (%), são estimados utilizando o modelo GPT2 ou, no somente temperatura e pressão, através do modelo GPT, utilizando um valor predefinido para umidade relativa (%). A pressão é ajustada levando em consideração a altura elipsoidal. Estes dados meteorológicos são empregados no modelamento dos atrasos troposféricos (IBGE, 2023).

As correções para os efeitos troposféricos são calculadas com base nos atrasos na componente seca ou hidrostática (usando o Modelo *Davis-GPT* ou modelo GPT2), na componente úmida (usando o Modelo *Hopfield-GPT* ou modelo GPT2) e na função de mapeamento GMF (*Global Map Function*) ou GPT2 (IBGE, 2023).

O CSRS-PPP utiliza a função de mapeamento VMF (*Vienna Mapping Functions*) que foi desenvolvida no ECMWF (*European Center for Medium-Range Weather Forecasts*) por Böhm & Schuh (2004) e é baseada no modelo Previsão Numérica de Tempo (PNT)/ECMWF. Estas funções permitem calcular o atraso troposférico para uma elevação inicial de 3,3°. Os coeficientes "b" e "c" utilizados na equação são empiricamente determinados a partir das IMF (*Isobaric Mapping Functions*) para a componente hidrostática, com base em dados de radiossondas. Já os coeficientes "b" e "c" para a componente úmida são obtidos a partir das NMF (*Neill Mapping Functions*) a 45° de latitude (GHODDOUSI-FARD, 2009; XU & XU, 2016; BRAGA, 2018).

A VMF foi atualizada por Böhm *et al.* (2006), e recebeu o nome de VMF1. Nesta atualização, os coeficientes "bh" e "ch" são derivados do ajuste dos mínimos quadrados a partir de dados do ECMWF de um ano, onde "bh" é uma constante e "ch" depende do dia do ano (*Day Of Year* - DOY) e da latitude.

O VMF1 está disponível em um grid de 2,5° de longitude por 2,0° de latitude com uma resolução temporal de 6 horas, disponível do site do VMF1 (VMF1, 2023).

4.1.3 Serviços de Processamento

O IBGE-PPP é um serviço online gratuito para pós-processamento de dados GNSS, disponível desde abril de 2009 no portal do IBGE. Faz uso do *software* GPSPACE versão 1.05/11216, desenvolvido pelo NRCan e permite que usuários obtenham coordenadas precisas no sistema de referência oficial do Brasil, o SIRGAS2000, para a época do levantamento e na época oficial 2000.4 (IBGE, 2023).

Até 2023 foram utilizados produtos disponibilizados pelo IGS e/ou NRCan, tais como: órbitas precisas, correções aos relógios dos satélites, modelos e mapas globais de ionosfera e modelos de correção do centro de fase de antenas (IBGE, 2023). Contudo, cabe destacar que a partir de fevereiro de 2024 o IBGE-PPP passou a utilizar informações dos satélites produzidas pelo CODE (*Center for Orbit Determination in Europe*) e ultra rápidas fornecidas pelo NRCan (IBGE, 2024).

Apesar de utilizar o programa provido pelo NRCan, no IBGE-PPP, a solução da ambiguidade não foi habilitada.

Cabe ressaltar que no momento do processamento dos dados nesta pesquisa, o IBGE-PPP utilizava produtos providos pelo NRCan.

O CSRS-PPP é o serviço de posicionamento por ponto preciso do NRCan. Ele foi lançado em 2003 e atualmente está na versão 3.54.2. A partir da versão 3.0, apresentada em 2020, trouxe uma implementação habilitando a solução das ambiguidades no GPS (NRCAN, 2024).

Para que seja possível realizar a solução das ambiguidades, foram implementados novos produtos providos pelo próprio NRCan, em que as correções do relógio do satélite são baseadas no método *Decoupled Clock Model* (DCM) de Collins *et al.* (2010). O uso combinado destas correções de relógio e tendências é o que permite os parâmetros de ambiguidade convergirem para valores inteiros (BANVILLE *et al.*, 2021).

Na Tabela 3 são exemplificados alguns parâmetros de processamento dos serviços IBGE-PPP e CSRS-PPP. Salienta-se que os parâmetros informados refere-se a data do processamento realizado nesta pesquisa. Contudo, foi informado que o IBGE-PPP já utiliza produtos de outras fontes. Cabe ainda observar que a realização do referencial no momento do processamento era o IGB14, atualmente ambos serviços de processamento utilizam o referencial IGS20.

Tabela 3 - Parâmetros dos serviços IBGE-PPP e CSRS-PPP

Parâmetro	IBGE-PPP	CSRS-PPP
Constelações	GPS+GLONASS	GPS+GLONASS
Software/Versão	GPSPACE 1.05/11216	SPARK 3.54.2 ¹
Intervalo de processamento	Quaisquer intervalos	30s
Máscara de elevação	10°	7,5°
Órbitas dos satélites e relógio	NRCan: Ultrarrápidas (EMU) Rápida (EMR) Final (EMF)	NRCan: Ultrarrápidas (DCU) Rápida (DCR) Final (DCF)
Carga Oceânica	FES2014b	FES2014b
Maré Terrestre	(IERS <i>Conventions</i> ,2010)	(IERS <i>Conventions</i> , 2010)
Ambiguidades	Real (float)	Possibilidade de solução Inteira para constelação GPS usando DCM model
Ionosfera	L3	L3
Modelo a priori do atraso troposférico	GPT2	VMF1
Função de Mapeamento	GMF/GPT2	VMF1_HT
Realização do referencial atual no momento do processamento (2022)	IGb14 e SIRGAS2000	IGb14

¹Versão atual implementada em 27/11/2022

Fonte: IBGE (2023) e NRCAN (2020)

Salienta-se que o IGB14 e o ITRF2014 são compatíveis e alinhados (IGS ACC, 2020; REBISCHUNG e SCHMID, 2016; REBISCHUNG, 2020). Como o SIRGAS2000 é uma densificação regional do ITRF2000, portanto, consideram-se compatíveis os dois sistemas de referência (WESTON & SOLER, 2012).

4.2 TESTE DE WILCOXON MANN-WHITNEY

A suposição de distribuição normal é uma premissa comum em muitas técnicas estatísticas paramétricas. No entanto, em algumas situações, esta suposição pode não ser atendida devido à natureza dos dados ou à presença de valores discrepantes. Nestes casos, os testes não paramétricos oferecem uma alternativa para realizar análises estatísticas. Os testes não paramétricos não dependem de suposições sobre a distribuição subjacente dos dados, sendo adequados quando os dados são pelo menos ordinais, quando há violação da normalidade ou quando a variável de interesse não pode ser medida, de forma adequada, em uma escala contínua (MARÔCO, 2014; LAPA, 2021).

Os testes não paramétricos são mais adequados em estudos nos quais não se tem um bom conhecimento sobre a distribuição da população e seus parâmetros, ou seja, quando a distribuição não segue uma distribuição normal (LAPA, 2021).

O teste de Wilcoxon Mann-Whitney é um teste não paramétrico adequado para comparar as funções de distribuições de uma variável, pelo menos ordinal, medida em duas amostras independentes. Este teste pode também ser utilizado como alternativa ao teste *t* de *Student* para amostras independentes, quando os pressupostos deste teste não são válidos (MARÔCO, 2014).

Marôco (2014) afirma que em termos práticos é possível ter duas amostras com a mesma mediana, mas ainda assim o teste de Wilcoxon Mann-Whitney indicar diferenças estatisticamente significativas entre as duas amostras. Não existindo incoerência visto que o teste de Wilcoxon Mann-Whitney é um teste às distribuições, portanto apenas quando estas amostras são idênticas, se pode extrapolar os resultados para as medianas populacionais.

Embora não haja um consenso absoluto, alguns autores fornecem sugestões práticas para o tamanho amostral em estudos que utilizam o teste de Wilcoxon. Barros e Mazucheli (2005) fez um estudo sobre o tamanho e poder dos testes *t-student* e Wilcoxon, onde analisaram um estudo de simulação de Monte-Carlo que avalia o poder dos testes. Suas conclusões abordam os tamanhos das amostras, indicando que para conjuntos de dados com menos de 30 observações parelhadas, os testes tendem a ser conservadores. Outra recomendação comumente citada é ter um tamanho amostral mínimo de 20 a 30 observações pareadas (CONOVER, 1999).

O teste de Wilcoxon Mann-Whitney adota como a hipótese nula que não existe diferença significativa entre as amostras pareadas, ou seja, as amostras têm distribuições iguais. Contudo, a hipótese alternativa assume que as distribuições são distintas, portanto existe diferença significativa entre as amostras.

Nesta pesquisa adotou-se o nível de 5%, portanto, quando os *p-values* obtidos no teste forem menores que 0,05 rejeita-se a hipótese nula e adota-se a hipótese alternativa, assumindo que existe diferença significativa entre as amostras.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 MATERIAIS

Para realização desta pesquisa, foram utilizados os seguintes materiais:

- Dados GNSS em formato RINEX de 6 estações da RBMC que rastream as constelações GPS e GLONASS, sendo elas:

- AMCR
- BRAZ
- CUIB
- PITN
- RJNI
- SMAR

- Software TEQC para fragmentação dos arquivos diários da RBMC em intervalos menores, sendo eles:

- 15 minutos de dados GPS e GLONASS a partir das 12h TUC;
- 30 minutos de dados GPS e GLONASS a partir das 12h TUC;
- 45 minutos de dados GPS e GLONASS a partir das 12h TUC;
- 60 minutos de dados GPS e GLONASS a partir das 12h TUC e
- 120 minutos de dados GPS e GLONASS a partir das 12h TUC.

- Serviço de processamento IBGE-PPP.
- Serviço de processamento CSRS-PPP.
- Software MATLAB 2021b, para análise estatística dos resultados (licença concedida pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil-UFV).

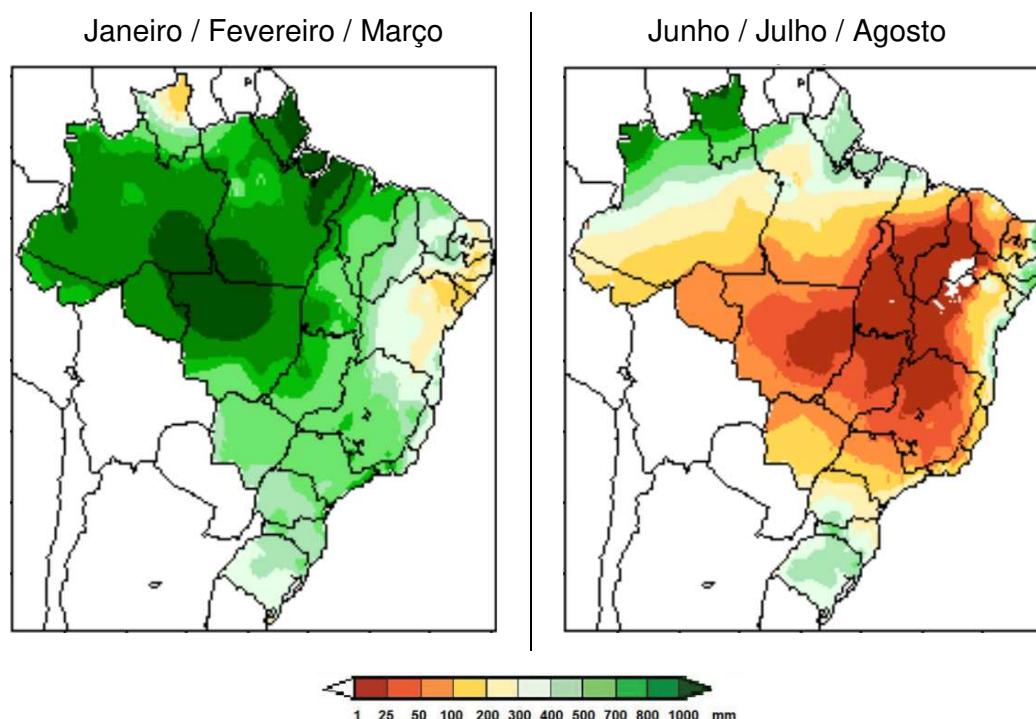
- Software Rstudio (R version 4.0.4).
- Software IDLE Shell (Python 3.10.4).

5.2 MÉTODOS

No intuito de verificar a influência da troposfera na solução das ambiguidades, foram escolhidas estações da RBMC localizadas em regiões climáticas distintas em termos de umidade.

Para auxiliar no processo de escolha das estações, dados de precipitação foram obtidos no site do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE), em que é possível observar, historicamente, as estações do ano que têm maior e menor volume de precipitação, desta forma, a Figura 1 exibe estas informações agrupadas por trimestre.

Figura 1 - Precipitações trimestrais ao longo do ano no território brasileiro



Fonte: CPTEC (2021)

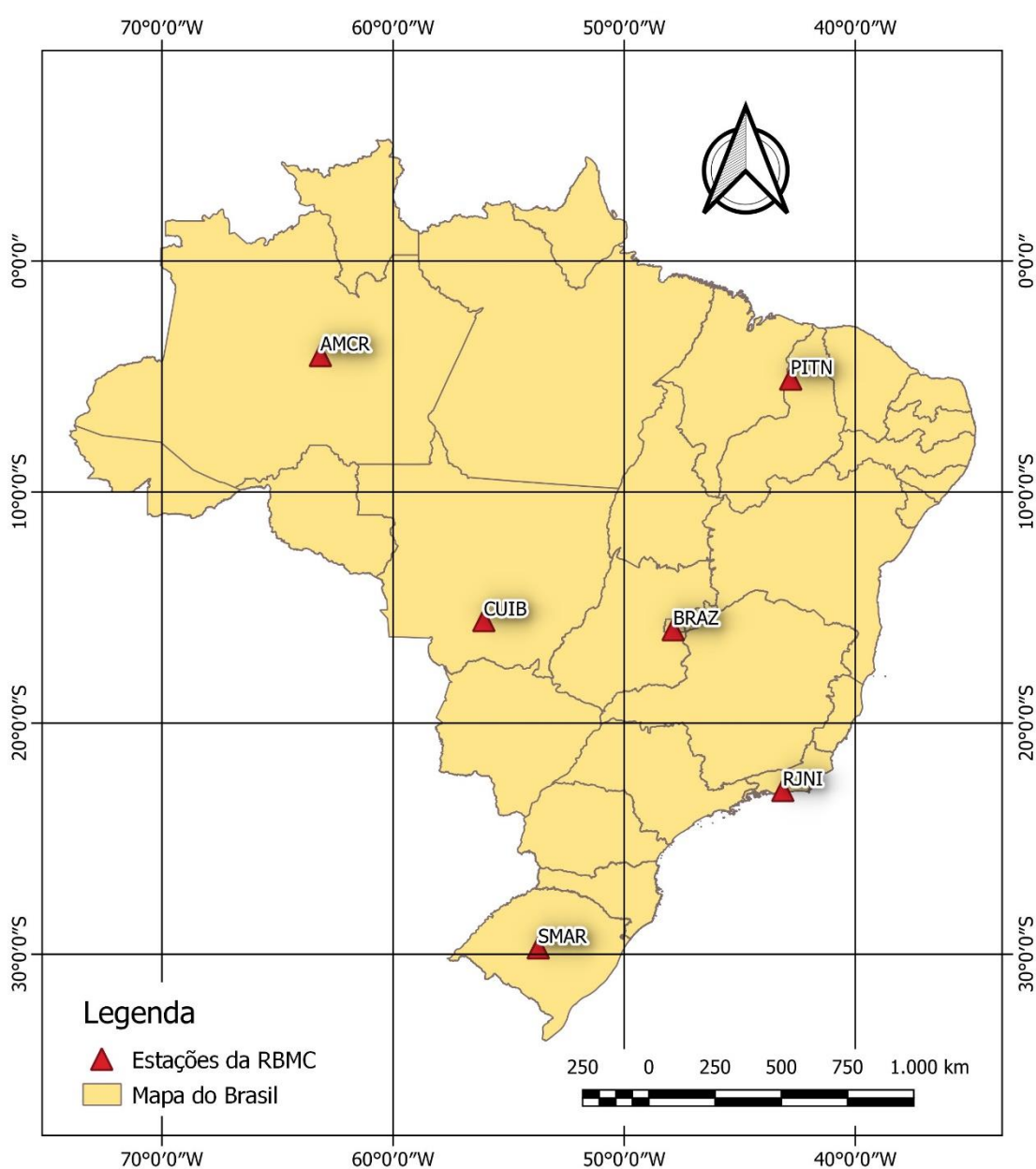
No trimestre que engloba os meses de janeiro, fevereiro e março, as chuvas são frequentes em quase todo o país, com exceção do Nordeste de Roraima e do Leste do Nordeste. Nas Regiões Sudeste e Centro-Oeste, os totais de chuva variam em torno de 300mm e 700mm. Na região Norte, especificamente na região amazônica as precipitações atingem 1000mm (CPTEC, 2021). Já no trimestre referente aos meses de junho, julho e agosto é notada uma escassez de chuva na região Sudeste e Centro-Oeste, havendo ainda precipitações nas regiões norte e sul.

5.2.1 Definição das estações

Foi realizada uma seleção de 6 estações da RBMC que deveriam ter dados de rastreio nos meses de janeiro e julho de 2021, variar espacialmente, em termos de latitude e longitude no território brasileiro e englobar as regiões climáticas distintas em termo de umidade.

A Figura 2 exibe o mapa com a distribuição espacial das estações escolhidas dentro do território brasileiro.

Figura 2 - Mapa de distribuição das estações da RBMC que compõem o trabalho



Fonte: Os Autores (2024)

Foram obtidos os arquivos RINEX da RBMC disponibilizados pelo IBGE, no período de 30 dias, em estações úmidas (janeiro) e 30 dias, em estações secas (julho). Foi verificado também, se as estações escolhidas continham os dados de todos os dias escolhidos.

5.2.2 Edição e processamento

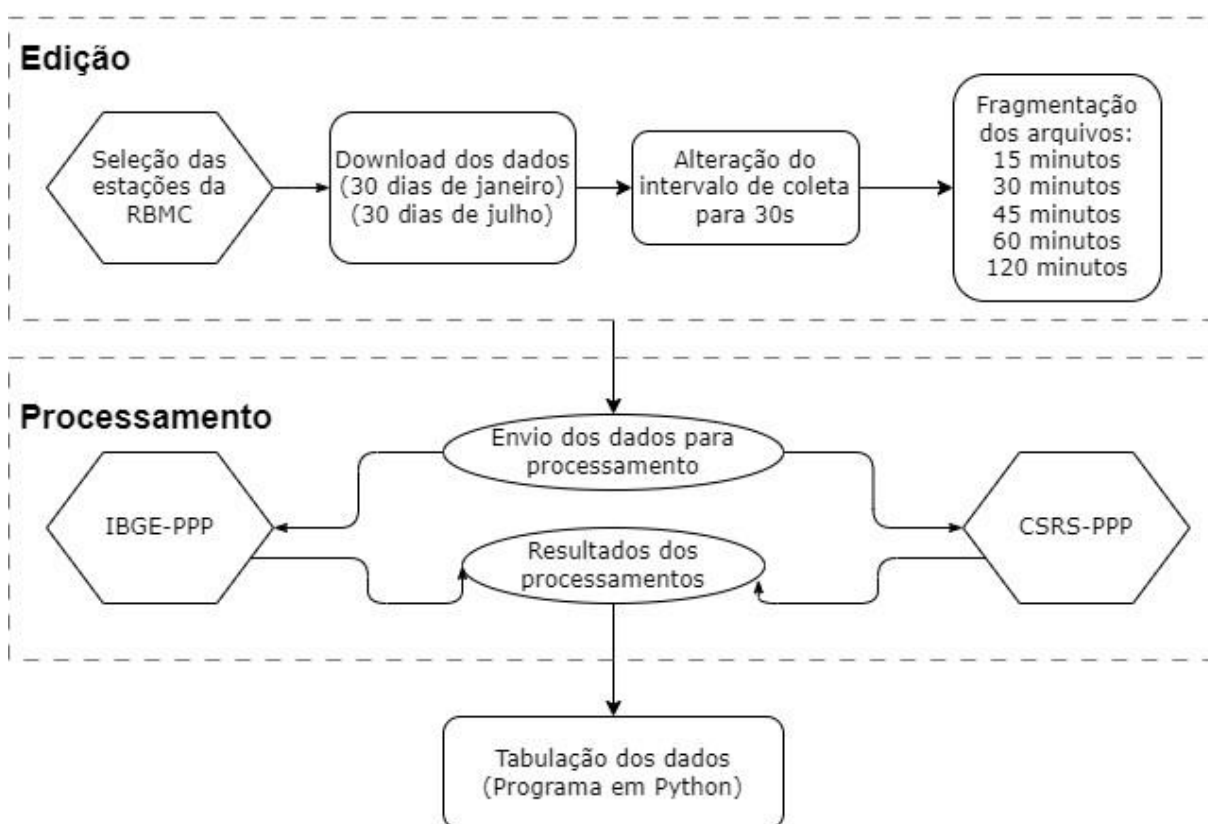
Para garantir a padronização dos intervalos de coleta, foi realizada a edição dos arquivos RINEX, ajustando as estações selecionadas para um intervalo de coleta 30 segundos, conforme exigido pelo serviço CSRS-PPP. Isto é necessário porque a RBMC realiza a coleta de dados em intervalos de 15 segundos. Segundo NRCan (2020), a utilização deste intervalo de registro das observáveis proporciona resultados superiores em comparação a intervalos menores, considerando a taxa de 30 segundos dos produtos de relógio utilizados no processamento. Desta forma, não há necessidade em interpolar erros dos relógios.

Utilizando o programa TEQC (*Translation, Editing and Quality Checking*), foi realizada a fragmentação dos dados em intervalos distintos de rastreamento (15, 30, 45, 60 e 120 minutos) para cada um dos 60 dias do ano selecionados. Em seguida, os arquivos resultantes desta fragmentação foram enviados para os serviços de processamento IBGE-PPP e CSRS-PPP. Cada serviço PPP processou um total de 6 estações, com 5 intervalos de rastreamento para cada estação, ao longo dos 60 dias, resultando em um total de 1.800 arquivos processados em cada serviço, ou seja, 3600 arquivos.

Os serviços PPP processaram os dados e enviaram um e-mail com os arquivos de processamento que continham, dentre diversas informações, as coordenadas cartesianas geocêntricas (X, Y, Z) e os respectivos desvios padrão (σ_X , σ_Y , σ_Z) e suas correlações no sistema de referência IGB14, na época em que os dados foram coletados.

De maneira simplificada, a fase de edição e processamento estão representados no fluxograma mostrado na Figura 3.

Figura 3 - Fluxograma da edição e processamento dos dados nos serviços IBGE-PPP e CSRS-PPP



Fonte: Os autores (2024)

Os serviços de processamento encaminham cada arquivo processado de forma separada, como nesta pesquisa foram processados 3600 arquivos, foi necessário elaborar um programa em linguagem Python para que fosse buscado dentro dos arquivos .SUM de cada processamento as informações necessárias para os próximos passos, como por exemplo as coordenadas cartesianas geocêntricas, e sua matriz de correlação.

Desta forma, foi gerada uma tabulação desses dados de forma automática para posterior utilização nas próximas etapas de cálculos. Vale ressaltar que nesta tabulação os resultados estão na época da coleta de dados.

5.2.2.1 Compatibilização de referencial e época das coordenadas de referência

As coordenadas de referência contidas no descritivo das estações da RBMC encontram-se no sistema de referência oficial do Brasil, que é o SIRGAS2000, época 2000,4, no qual é uma densificação regional do ITRF2000, na época 2000,4 (SIRGAS, 2021). Por isso, a transformação do referencial do SIRGAS2000 (ITRF2000) para IGb14 foi realizada, bem como a atualização de coordenadas, para compatibilizar a época de referência (2000,4) para época do levantamento dos dados adotados. No caso desta pesquisa, foram adotadas duas épocas médias para representar o intervalo de 30 dias em janeiro de 2021 (época média 2021,04) e 30 dias do mês de julho (época média 2021,53). Desta maneira, as coordenadas a serem comparadas estarão referenciadas na mesma época e ao mesmo referencial.

A compatibilização entre as materializações dos ITRF (IGS) é realizada através da aplicação de uma transformação de Helmert. Nesta pesquisa, adotou-se a compatibilização realizada pelo IBGE, que estabelece o relacionamento entre as realizações do ITRF/IGS e o SIRGAS2000, por meio de uma transformação de Helmert com 7 parâmetros, os quais incluem três translações, três rotações e um fator de escala. Vale ressaltar que as rotações utilizadas pelo IBGE são nulas. Os valores específicos destes parâmetros de transformação, aplicados pelo IBGE-PPP, encontram-se na tabela 4 (IBGE, 2023). São destacados em negrito os parâmetros que devem ser utilizados na época de processamento dos dados (janeiro e julho/2021):

Tabela 4 - Parâmetros de transformação utilizados pelo IBGE-PPP – ITRF X SIRGAS

Realização	Parâmetros de Transformação						
	Tx (cm)	Ty (cm)	Tz (cm)	Escala (ppb)	Rx (mas)	Ry (mas)	Rz (mas)
ITRF (IGb00) -> SIRGAS	-0,14	-0,25	0,04	-0,46	0,000	0,000	0,000
ITRF (IGS05) -> SIRGAS	-0,08	-0,39	-0,61	-0,18	0,000	0,000	0,000
ITRF (IGS08) -> SIRGAS	-0,34	-0,48	-0,86	1,62	0,000	0,000	0,000
ITRF (IGb08) -> SIRGAS	-0,34	-0,54	-0,88	1,57	0,000	0,000	0,000
ITRF (IGS14) -> SIRGAS	-0,26	-0,32	-0,42	1,22	0,000	0,000	0,000
ITRF (IGb14) -> SIRGAS	-0,27	-0,25	-0,42	1,20	0,000	0,000	0,000
ITRF (IGS20) -> SIRGAS	-0,48	-0,19	-0,69	0,69	0,000	0,000	0,000

Fonte: IBGE (2023).

O procedimento inicia-se reduzindo os parâmetros de sua época (tk) para a época (to) referente às coordenadas no sistema de referência de origem (o) conforme Eq. (11) (PETIT; LUZUM, 2010; CARVALHO, 2015):

$$\vec{P}_{t_0} = \vec{P}_{t_k} + \vec{P}_{\square}(t_0 - t_k) \rightarrow \begin{pmatrix} T_X \\ T_Y \\ T_Z \\ D \\ R_X \\ R_Y \\ R_Z \end{pmatrix}_{t_0} = \begin{pmatrix} T_X \\ T_Y \\ T_Z \\ D \\ R_X \\ R_Y \\ R_Z \end{pmatrix}_{t_k} + \begin{pmatrix} \dot{T}_X \\ \dot{T}_Y \\ \dot{T}_Z \\ \dot{D} \\ \dot{R}_X \\ \dot{R}_Y \\ \dot{R}_Z \end{pmatrix}_{\square} (t_0 - t_k) \quad (11)$$

Em que:

- \vec{P}_{t_0} - Vetor dos parâmetros de transformação na época de origem;
- \vec{P}_{t_k} - Vetor dos parâmetros de transformação na época de sua determinação;
- \vec{P}_{\square} - Vetor das variações temporais (*rates*) dos parâmetros;
- T_X, T_Y, T_Z - Translações em X, Y e Z, entre os dois referenciais;
- D - O fator de escala entre os dois referenciais, adimensional;
- R_X, R_Y, R_Z - Rotações entre os referenciais nos eixos X, Y e Z;
- $\dot{T}_X, \dot{T}_Y, \dot{T}_Z$ - Variações temporais das translações em X, Y e Z;
- \dot{D} - Variação temporal do fator de escala entre os dois referenciais;
- $\dot{R}_X, \dot{R}_Y, \dot{R}_Z$ - Variações temporais das rotações entre os referenciais nos eixos X, Y e Z.

Cabe ressaltar que independente da época de observação, os valores dos parâmetros são os mesmos, pois as variações temporais fornecidas pelo IBGE são nulas.

Ao lidar com o fator de escala expresso em ppm (partes por milhão), é necessário multiplicá-lo por 10^{-6} . Por outro lado, se o fator de escala estiver em ppb (partes por bilhão), deverá ser multiplicado por 10^{-9} . Além disso, as rotações diferenciais devem ser convertidas de milissegundos de arco ($0,001''$) para radianos. Para realizar esta conversão, o valor em milissegundos de arco deve ser dividido por mil e multiplicado por $4,848136811076 \times 10^{-6}$ rad./s (CARVALHO, 2015).

Uma vez que os parâmetros tenham sido atualizados, realiza-se a transformação das coordenadas de um sistema de origem (o) para um sistema de

destino (d), seguindo a equação (12). Destaca-se que, a fim de assegurar uma transformação precisa, tanto as coordenadas nas duas materializações quanto os sete parâmetros de transformação devem ser referenciados à mesma época (t_0) (PETTIT; LUZUM, 2010).

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{d(t_0)} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{o(t_0)} + \begin{bmatrix} T_X \\ T_Y \\ T_Z \end{bmatrix}_{t_0} + \begin{bmatrix} D & -R_Z & R_Y \\ R_Z & D & -R_X \\ -R_Y & R_X & D \end{bmatrix}_{t_0} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{o(t_0)} \quad (12)$$

Em que:

- $X; Y; Z$ - Coordenadas cartesianas geocêntricas de um ponto;
 d, o - Referenciais das coordenadas, destino e origem, respectivamente.

No que diz respeito às velocidades das estações necessárias no processo de atualização, verifica-se que é possível obtê-las a partir de um modelo de campo de velocidade. Neste contexto, o IBGE-PPP faz o uso do modelo VEMOS2009 (*VElocity Model Of Sirgas*), que é referenciado ao ITRF2005 (DREWES & HEIDBACH (2012); RAMOS (2015) e CARVALHO (2015)). O VEMOS2009 foi calculado pelo DGFI (*Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut*), o qual usou resultados de diferentes campanhas GPS realizadas em diferentes épocas na América do Sul.

De posse das velocidades da estação obtidas com VEMOS2009, torna-se possível fazer a compatibilização de época das coordenadas para época de interesse, normalmente, na época de realização do sistema de referência desejado. Isto é realizado a partir de (MONICO, 2008):

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{d(t)} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{d(t_0)} + \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{bmatrix}_{\square} (t - t_0) \quad (13)$$

Em que:

- $[X \ Y \ Z]_{d(t)}$ - Coordenadas cartesianas geocêntrica na época de interesse;
 $[X \ Y \ Z]_{d(t_0)}$ - Coordenadas cartesianas geocêntrica na época de origem;
 $[V_x \ V_y \ V_z]$ - Velocidade obtida com VEMOS2009.

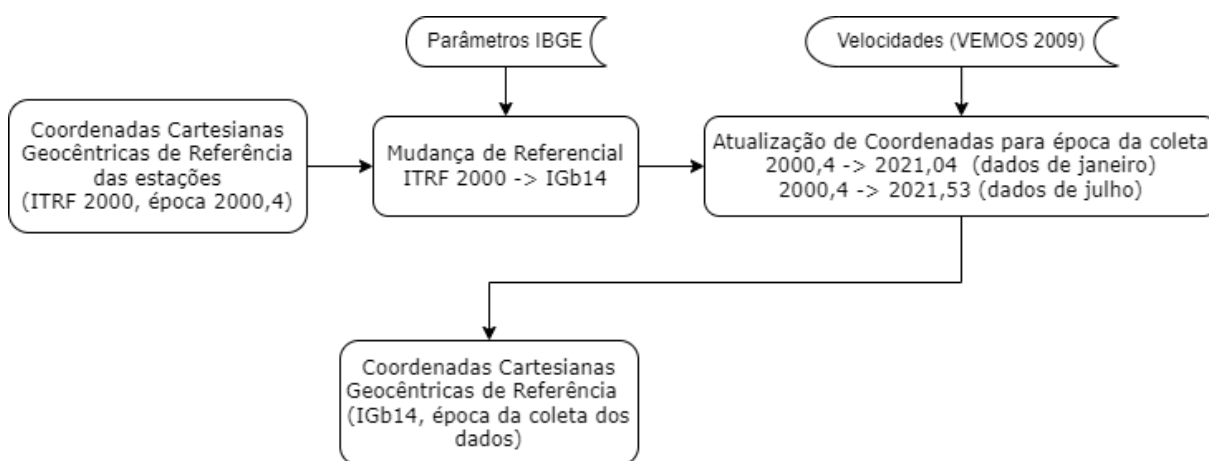
Cabe salientar que, nesta pesquisa, foi empregado o modelo de velocidade VEMOS2009, da mesma forma que o serviço de posicionamento IBGE-PPP utiliza. É

importante ressaltar que o IBGE não realiza o procedimento de mudança do referencial da velocidade.

Dessa forma, as coordenadas de referência das estações adotadas nesta pesquisa foram compatibilizadas e atualizadas de SIRGAS2000, época 2000,4 para IGB14 na época de coleta dos dados.

Na Figura 4 é exibido o fluxograma deste processo de compatibilização e atualização das coordenadas cartesianas geocêntricas de referência.

Figura 4 - Fluxograma da transformação de referencial e atualização das coordenadas geocêntricas de referência



Fonte: Os autores (2024)

Após esse procedimento, foi possível obter as coordenadas cartesianas geocêntricas de referência compatibilizadas e atualizadas para IGB14 na época da coleta de dados. Dessa forma, temos as informações necessárias para converter os resultados das coordenadas cartesianas geocêntricas obtidas nos 3600 processamentos realizados para as componentes do Sistema Geodésico Local (SGL).

5.2.2.2 Sistema Geodésico Local

Segundo Chaves e Monico (2017), é recomendado realizar a conversão de coordenadas cartesianas geocêntricas para o SGL, visando obter uma melhor visualização das discrepâncias. Esta conversão envolve transformar os vetores das coordenadas cartesianas geocêntricas em componentes do vetor posição no SGL.

Desta forma, as análises dos resultados serão realizadas em coordenadas geodésicas locais. Para tal procedimento foram seguidas as seguintes etapas, conforme descritas por Leick (2015):

$$\overrightarrow{e_{e,n,u}} = R \times \overrightarrow{X_{X,Y,Z}} \quad (14)$$

$$\begin{bmatrix} e \\ n \\ u \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin \lambda & \cos \lambda & 0 \\ -\sin \varphi * \cos \lambda & -\sin \varphi * \sin \lambda & \cos \varphi \\ \cos \varphi * \cos \lambda & \cos \varphi * \sin \lambda & \sin \varphi \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix} \quad (15)$$

Em que:

- $e; n; u$ - Coordenadas geodésicas locais;
- $X; Y; Z$ - Coordenadas cartesianas geocêntrica de um ponto;
- φ - Latitude geodésica do ponto de origem;
- λ - Longitude geodésica do ponto de origem;
- X_0, Y_0, Z_0 - Coordenadas cartesianas geocêntrica de origem.

A transformação foi realizada no software Matlab versão R2021b, utilizando os parâmetros do elipsoide GRS80, com semieixo maior (a) = 6378137 metros e achatamento (f) = 1/298,257222101.

Neste processo foi adotado para as coordenadas cartesianas de origem (X_0, Y_0, Z_0) as obtidas da RBMC, compatibilizadas e atualizadas para a época média. Já as coordenadas ($X; Y; Z$) foram adotadas cada uma resultante do processamento. Portanto, todas as coordenadas obtidas nos processamentos foram convertidas para o SGL.

Assim como as coordenadas, os desvios-padrão foram propagados, pois foram estimados em termos das coordenadas cartesianas, sendo necessário tê-los em coordenadas geodésicas locais. Isso foi realizado aplicando a propagação de variância, de acordo com as seguintes expressões:

$$MVC_{e n u} = J * MVC_{XYZ} * J^T \quad (16)$$

Sendo,

$$J = R = \begin{bmatrix} -\sin \lambda & \cos \lambda & 0 \\ -\sin \varphi * \cos \lambda & -\sin \varphi * \sin \lambda & \cos \varphi \\ \cos \varphi * \cos \lambda & \cos \varphi * \sin \lambda & \sin \varphi \end{bmatrix} \quad (17)$$

$$MVC_{XYZ} = \begin{bmatrix} \sigma_X^2 & \sigma_{XY} & \sigma_{XZ} \\ \sigma_{YX} & \sigma_Y^2 & \sigma_{YZ} \\ \sigma_{ZX} & \sigma_{ZY} & \sigma_Z^2 \end{bmatrix} \quad (18)$$

$$\sigma_{XY} = \rho_{XY} \times \sigma_X \times \sigma_Y \quad (19)$$

$$\sigma_{XZ} = \rho_{XZ} \times \sigma_X \times \sigma_Z$$

$$\sigma_{YZ} = \rho_{YZ} \times \sigma_Y \times \sigma_Z$$

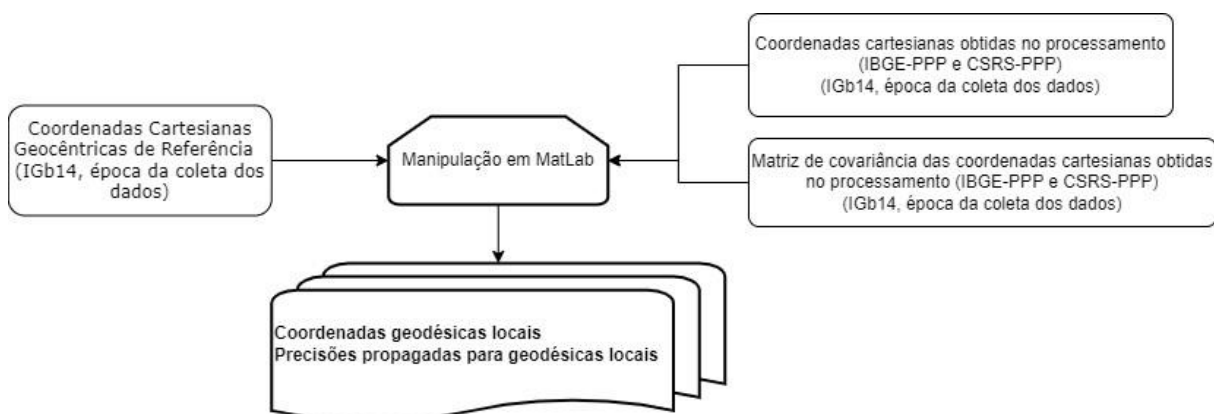
Em que:

- MVC_{enu} - É a matriz variância covariância das coordenadas geodésicas locais;
- MVC_{XYZ} - É a matriz variância covariância das coordenadas cartesianas geocêntricas (dada no processamento);
- J - É a matriz jacobiana;
- σ_X - Desvio padrão da coordenada X (dada no processamento);
- σ_Y - Desvio padrão da coordenada Y (dada no processamento);
- σ_Z - Desvio padrão da coordenada Z (dada no processamento).
- σ_{XY} - Covariância XY;
- σ_{XZ} - Covariância XZ;
- σ_{YZ} - Covariância YZ;
- ρ_{XY} - Correlação XY (dada no processamento);
- ρ_{XZ} - Correlação XZ (dada no processamento);
- ρ_{YZ} - Correlação YZ (dada no processamento);

Todo este procedimento foi realizado no software Matlab versão R2021b.

A Figura 5 exibe o fluxograma das sequências seguidas para obtenção de coordenadas geodésicas locais a partir das coordenadas cartesianas geocêntricas obtidas nos processamentos realizados pelo IBGE-PPP e CSRS-PPP e suas precisões propagadas de cartesianas geocêntrica para geodésica local.

Figura 5 - Fluxograma ilustrando os passos para obtenção das coordenadas geodésicas locais e precisões.



FONTE: Os autores (2024)

Ao final destas operações apresentas no fluxograma da Figura 5, foram obtidas então as coordenadas geodésicas locais estimadas e seus respectivos desvios-padrão propagados em metros na época média das coletas de dados (2021,04 e 2021,53) e no referencial IGb14.

De posse destes dados foi utilizado o *software* Rstudio para elaborar os gráficos que serão apresentados em forma de *boxplot* (diagrama de caixa) de discrepâncias e precisões obtidos em todas as estações desta pesquisa.

5.2.2.3 RMSE

A Raiz do Erro Médio Quadrático (REMQ) ou RMSE (*Root Mean Square Error*) para as componentes “e”, “n” e “up” do SGL foram calculadas de acordo com as seguintes equações:

$$RMSE_e = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(\Delta e_i)^2}{N}} \quad (20)$$

$$RMSE_n = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(\Delta n_i)^2}{N}} \quad (21)$$

$$RMSE_u = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(\Delta u_i)^2}{N}} \quad (22)$$

Em que:

- $e; n; u$ - Coordenadas geodésicas locais;
- N - Número total de dias no clima seco e úmido.

De acordo com a ISO 19157:2013, o RMSE representa a acurácia externa ou absoluta. Também é denominado de RMSE linear (ISO, 2013).

Nesta pesquisa, foi adotado N igual a 30, pois o RMSE de cada componente do SGL será apresentado para cada intervalo de rastreamento (15, 30, 45, 60 e 120 minutos) no clima seco (30 dias) e no clima úmido (30 dias). Cabe ainda destacar que serão apresentados em função do serviço de processamento (IBGE-PPP e CSRS-PPP).

Este processo de obtenção dos valores de RMSE, Cálculo dos testes estatísticos e elaboração dos gráficos que serão exibidos nos resultados foram realizados no *software Rstudio*.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

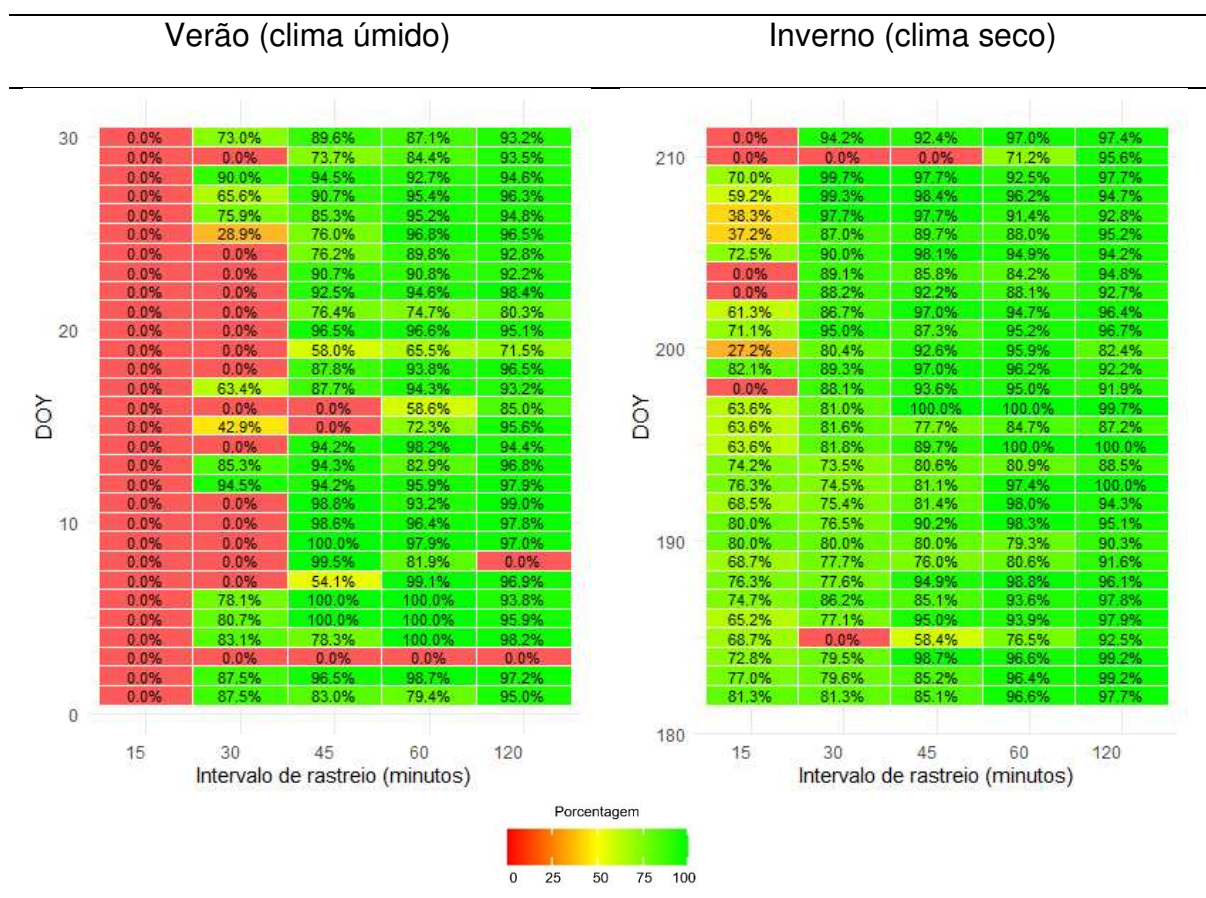
Na sequência serão apresentados os resultados referentes a cada uma das seis estações da RBMC: AMCR (Coari, AM), BRAZ (Brasília, DF), CUIB (Cuiabá, MT), PITN (Teresina, PI), RJNI (Niterói, RJ) e SMAR (Santa Maria, RS). Em todos os casos serão apresentados os gráficos de porcentagem de solução das ambiguidades como números inteiros, englobando todos os intervalos de rastreamento pré-estabelecidos (15, 30, 45, 60 e 120 minutos), para os 30 dias de processamento, no inverno e verão.

Também serão apresentados os gráficos *boxplot* (ou diagrama de caixa) das discrepâncias e precisões, referentes aos dois serviços de processamento online (IBGE-PPP e CSRS-PPP), incluindo as tabelas dos testes estatísticos de Wilcoxon Mann-Whitney. Os valores de RMSE foram ilustrados em tabelas e em gráficos de barras.

6.1 ESTAÇÃO AMCR

Na estação AMCR, a porcentagem das soluções de ambiguidades alcançadas durante o processamento realizado pelo CSRS-PPP ao longo dos dias do ano (DOY) adotados nesta pesquisa podem ser visualizadas no Gráfico 1. Os intervalos de rastreamento são representados no eixo X, enquanto as porcentagens são indicadas em uma escala de cores (degradê) que varia de vermelho, para porcentagens mais baixas, até verde, para porcentagens mais altas. No eixo Y são representados os dias corridos do ano adotados na pesquisa.

Gráfico 1 - Porcentagem de Solução das Ambiguidades GPS no CSRS-PPP (Estação AMCR)



No Gráfico 1 é possível notar a influência predominante do clima na solução das ambiguidades. Durante o verão, observou-se que, dentro do intervalo de rastreo de 15 minutos, nenhuma porcentagem de solução das ambiguidades foi fixada como inteiro. No intervalo de 30 minutos, embora alguns dias tenham apresentado soluções superiores a 75%, a maioria (16 dias) registrou porcentagens de soluções de ambiguidades iguais a 0%.

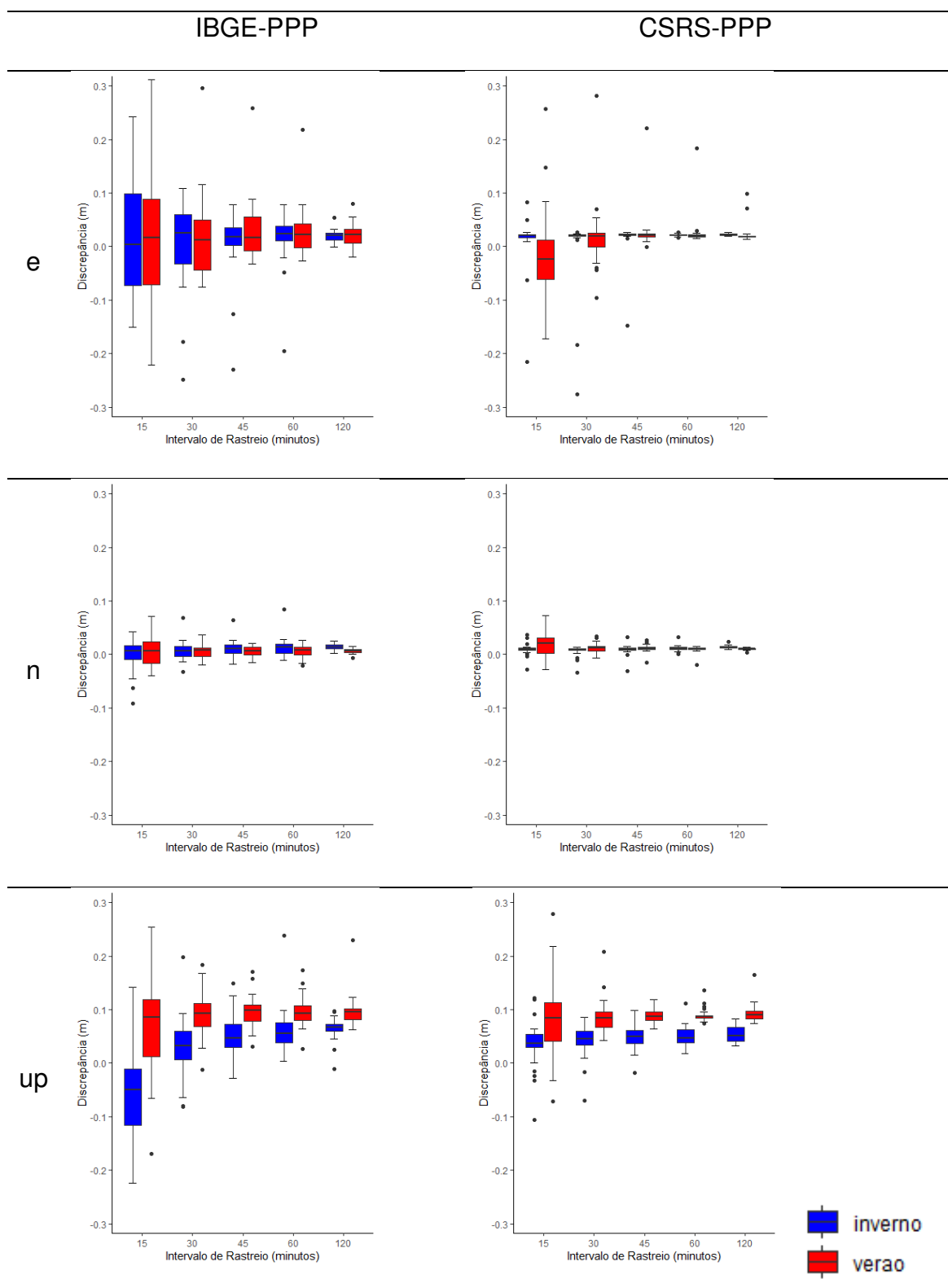
Nota-se uma melhora significativa a partir de 45 minutos de intervalo de rastreamento. Porém, destaca-se que no dia 03/01 em nenhum intervalo de rastreo foi solucionado a ambiguidade (taxa igual a 0%). Foram analisados os resultados referentes ao período de coleta de 120 minutos, considerando os dias 01, 02, 03 e 04 de janeiro (resultados nos dias 01, 02 e 04 apresentaram alta taxa de solução da ambiguidade). Não foi notada nenhuma diferença significativa entre os erros dos relógios do receptor e geometria dos satélites. Contudo, no dia 03/01, foram observados maiores valores da estimativa da componente úmida, bem como maiores valores das precisões das estimativas, o que pode explicar a não solução das

ambiguidades em todos os intervalos de rastreio do dia 03/01. Theodoro (2020) obteve em seu trabalho menores valores de soluções das ambiguidades em climas úmidos comparados com climas secos, comportamento parecido com o que foi visualizado no Gráfico 1.

O comportamento da solução das ambiguidades durante o inverno foi notavelmente superior ao verão, principalmente nos intervalos de rastreamento menores (15 e 30 minutos). O clima seco resultou em porcentagens de soluções acima de 60% para os intervalos de rastreio de 15 e 30 minutos, com algumas exceções, conforme ilustra o Gráfico 1. Já nos intervalos de rastreamento mais longos, esta porcentagem chegou a ultrapassar 90%.

O Gráfico 2 apresenta as discrepâncias posicionais por meio de *boxplots* de um compilado de 30 dias no verão e 30 dias no inverno para os intervalos de rastreio adotados na pesquisa. A escolha deste gráfico foi feita para representar a mediana e os intervalos interquartis das discrepâncias obtidas nos serviços de processamento. A apresentação foi subdividida nas componentes e, n e up do SGL.

Gráfico 2 - Discrepâncias entre Verão e Inverno (Estação AMCR).



Ao analisar o Gráfico 2, uma peculiaridade tornou-se destaque. Foi possível notar o comportamento da componente “e” no CSRS-PPP que apresentou valores menos dispersos no clima seco em relação ao clima úmido para os intervalos de

rastreio de 15 e 30 minutos, que coincide com os casos em que a solução das ambiguidades foram na maioria das vezes solucionadas com alta porcentagem. Este fato indica que em climas secos há uma tendência no aumento da taxa de solução das ambiguidades e conseqüentemente uma relação de melhoria, em termos de discrepância, nessa componente.

Contudo, mesmo no caso de climas úmidos (verão), no qual as taxas de soluções das ambiguidades diminuíram, as discrepâncias posicionais apresentaram-se menos dispersas nos resultados obtidos com CSRS-PPP.

Na componente “up” observa-se valores de discrepâncias mais tendenciosas no clima úmido. No caso do CSRS-PPP, no período de inverno, para intervalo de rastreio de apenas 15 minutos, foram apresentados melhores resultados do que todos os intervalos maiores de rastreio no inverno, principalmente em relação ao verão.

A amplitude interquartil das discrepâncias obtidas com CSRS-PPP mostrou-se menor em comparação com aquelas obtidas por meio do IBGE-PPP. Esta observação indica que as estimativas fornecidas pelo CSRS-PPP tenderam a ser mais consistentes do que aquelas obtidas pelo IBGE-PPP. A menor amplitude interquartil nos resultados de discrepância do CSRS-PPP sugere uma maior estabilidade nas estimativas de discrepâncias obtidas.

Com intuito de corroborar com a análise, foi realizado o teste estatístico de Wilcoxon Mann-Whitney, que vai exibir se houve diferença significativa entre o clima úmido e seco nos diferentes intervalos de rastreio, mas no mesmo serviço de processamento. Desta maneira, para cada componente do SGL, foram pareadas as discrepâncias obtidas em cada serviço de processamento entre os períodos de inverno e verão, nos intervalos de rastreios estudado. O resultado (*p-value*) dos testes de Wilcoxon Mann-Whitney foram compilados e apresentados na Tabela 5. Para facilitar a visualização, foi colocado em **negrito e itálico** os testes que apresentaram diferenças estatística, ou seja, os resultados que representam a hipótese alternativa do teste, em que as distribuições são distintas e, portanto, existe diferença significativa entre as amostras.

Tabela 5 - p-value do Teste de Wilcoxon Mann-Whitney das discrepâncias entre Verão e Inverno (Estação AMCR).

		AMCR									
		Intervalo de Rastreio (minutos)									
		15		30		45		60		120	
		p-value	sign	p-value	sign	p-value	sign	p-value	sign	p-value	sign
e	ibge	8.20E-01	Não	6.76E-01	Não	9.71E-01	Não	6.86E-01	Não	5.62E-01	Não
	csrs	2.47E-03	Sim	4.95E-01	Não	5.42E-01	Não	8.38E-03	Sim	1.39E-07	Sim
n	ibge	5.42E-01	Não	7.30E-01	Não	2.03E-01	Não	6.11E-02	Não	6.25E-06	Sim
	csrs	3.71E-02	Sim	1.83E-02	Sim	7.23E-02	Não	6.76E-01	Não	1.71E-07	Sim
up	ibge	1.55E-07	Sim	6.82E-07	Sim	5.12E-07	Sim	6.20E-07	Sim	5.34E-08	Sim
	csrs	1.09E-03	Sim	1.63E-09	Sim	1.08E-11	Sim	3.89E-13	Sim	1.16E-14	Sim

Foi adicionado uma coluna de “sign” para indicar se o teste apontou diferença significativa com nível de significância de 5%. Quando *p-value* assume valores menores ou iguais a 0,05 é rejeitada a hipótese nula e é possível concluir que a diferença é estatisticamente significativa. E dessa forma, foram conduzidas várias análises para investigar as diferenças significativas entre as discrepâncias obtidas através dos processamentos com IBGE-PPP e CSRS-PPP, entre verão e inverno. Com um nível de significância de 5%, foi constatado que no intervalo de 120 minutos de rastreio, exceto a componente “e” obtida no IBGE-PPP, todas as outras apresentaram diferenças estatísticas nas discrepâncias para ambos os serviços de processamento.

Durante o intervalo de rastreio de 15 minutos, com o CSRS-PPP foram observadas diferenças estatísticas em todas as componentes. Já no IBGE-PPP, neste intervalo, foi observada diferença estatística apenas na componente “up”.

Contudo, para a componente “Up”, foram observadas diferenças estatísticas em todos os intervalos de rastreio em ambos os serviços de processamento.

Outra abordagem foi adotada com intuito de avaliar as discrepâncias entre os serviços de processamento. Assim foi realizado novamente o Teste de Wilcoxon Mann-Whitney, porém os dados pareados serão avaliados entre os serviços de processamento. Como exemplo, pode ser citado o primeiro *p-value* apresentado na Tabela 6, onde o *p-value* de 0,0138 reflete que o conjunto de 30 dias de dados processados com intervalos de rastreio de 15 minutos para a componente “e” no verão no serviço de processamento IBGE-PPP não apresentou diferenças significativas em relação ao mesmo conjunto de dados processados no CSRS-PPP.

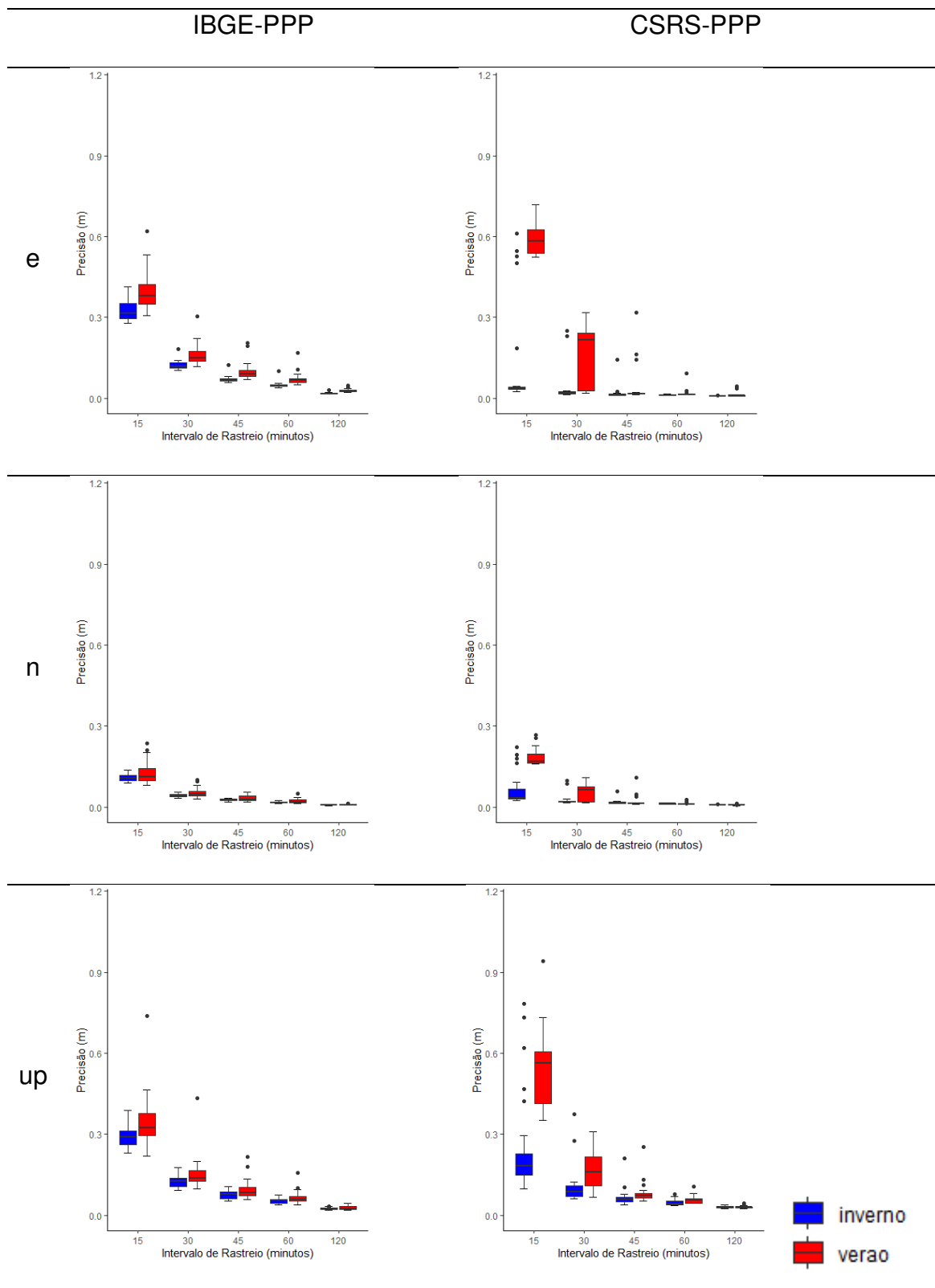
Tabela 6 - p-value do Teste de Wilcoxon Mann-Whitney das discrepâncias entre IBGE-PPP e CSRS-PPP (Estação AMCR)

		AMCR									
		Intervalo de Rastreio (minutos)									
		15		30		45		60		120	
		p-value	sign	p-value	sign	p-value	sign	p-value	sign	p-value	sign
e	verão	1.38E-01	Não	6.23E-01	Não	6.97E-01	Não	9.59E-01	Não	7.08E-01	Não
	inverno	8.54E-01	Não	1.55E-01	Não	2.24E-01	Não	6.54E-01	Não	6.99E-02	Não
n	verão	9.95E-02	Não	6.11E-02	Não	5.51E-02	Não	7.97E-02	Não	3.32E-04	Sim
	inverno	1.38E-01	Não	6.97E-01	Não	6.44E-01	Não	4.06E-01	Não	2.79E-01	Não
up	verão	7.30E-01	Não	3.66E-01	Não	9.95E-02	Não	2.13E-01	Não	4.67E-01	Não
	inverno	6.64E-08	Sim	2.19E-01	Não	9.59E-01	Não	4.32E-01	Não	6.05E-03	Sim

Com um nível de significância de 5%, constatou-se, através da Tabela 6, que as diferenças entre IBGE-PPP e CSRS-PPP foram significativas na componente “up” no período do inverno apenas para os intervalos de rastreio de 15 e 120 minutos. Houve também uma diferença significativa para a componente “n” no intervalo de rastreio de 120 minutos no verão. Ademais, não foram detectadas diferenças estatísticas nos intervalos estudados.

As precisões das coordenadas cartesianas geocêntricas obtidas nos dois serviços IBGE-PPP e CSRS-PPP foram propagadas para o SGL para realização das análises. O Gráfico 3 apresenta o *boxplot* de um conjunto de precisões de 30 dias de clima seco e 30 dias de clima úmido obtidas no IBGE-PPP e CSRS-PPP nos intervalos de rastreio estudados. As precisões foram apresentadas em termos das componentes do SGL.

Gráfico 3 - Precisão entre Verão e Inverno (Estação AMCR)



É importante salientar que a escala vertical foi mantida a mesma para todas as estações adotadas nesta pesquisa. Desta forma, a amplitude de representação das precisões obtidas variaram até 1,20m.

A análise dos *boxplots* presentes no Gráfico 3 evidencia o declínio das precisões do inverno em comparação com o verão, com ênfase nos intervalos de rastreo de 15 e 30 minutos, principalmente, no CSRS-PPP, com destaque para a componente “e” nos intervalos de 15 e 30 minutos, e na componente “up” no intervalo de 15 minutos. Estes resultados estão em consonância com o Gráfico 1, que apresentou as porcentagens de soluções das ambiguidades no serviço de processamento do NRCan.

Quando as ambiguidades são solucionadas como números inteiros os resultados do CSRS-PPP melhoram significativamente, proporcionando resultados mais precisos do que o IBGE-PPP. Nota-se melhora significativa da precisão com o aumento do intervalo de rastreo, porém, se estabiliza após 45 minutos, principalmente em relação ao CSRS-PPP.

Esta observação sugere que as estimativas fornecidas pelo CSRS-PPP tendem a apresentar valores de precisão de maior magnitude do que aqueles fornecidas pelo IBGE-PPP nos intervalos iniciais em intervalos de rastreo no clima úmido. No entanto, em intervalos de rastreo mais extensos e no clima seco, as estimativas do CSRS-PPP revelaram-se mais precisas. Assim como no caso das discrepâncias, as precisões também indicam que a modelagem da troposfera, assim como a estimativa da componente úmida, influencia na solução das ambiguidades. Conforme descrito no tópico 4.1.2, a componente úmida apresenta maior variabilidade.

Corroborando com o Gráfico 3, foi realizado o teste estatístico de Wilcoxon Mann-Whitney para averiguar se houve diferenças significativas entre os resultados das precisões obtidas com os serviços de processamento IBGE-PPP e CSRS-PPP em diferentes estações do ano, identificadas como verão e inverno, representando, respectivamente, condições úmidas e secas. Desta forma é apresentado na Tabela 7 os *p-values* do teste estatístico e respectivamente se houve diferença significativa entre os climas nos serviços de processamento.

Tabela 7 - p-value do Teste de Wilcoxon Mann-Whitney das precisões entre Verão e Inverno (Estação AMCR)

		AMCR									
		Intervalo de Rastreio (minutos)									
		15		30		45		60		120	
		p-value	sign	p-value	sign	p-value	sign	p-value	sign	p-value	sign
e	ibge	8.23E-07	Sim	3.13E-09	Sim	6.80E-11	Sim	1.08E-11	Sim	1.24E-13	Sim
	csrs	7.41E-13	Sim	1.25E-09	Sim	1.55E-07	Sim	9.56E-09	Sim	2.24E-06	Sim
n	ibge	1.97E-01	Não	5.51E-02	Não	4.62E-02	Sim	3.85E-02	Sim	9.53E-05	Sim
	csrs	3.43E-08	Sim	4.99E-03	Sim	2.22E-03	Sim	1.52E-05	Sim	5.87E-09	Sim
up	ibge	1.42E-02	Sim	1.69E-02	Sim	5.32E-02	Não	4.30E-02	Sim	9.06E-02	Não
	csrs	2.74E-08	Sim	1.71E-06	Sim	5.76E-04	Sim	2.75E-04	Sim	8.09E-01	Não

Os resultados dos testes estatísticos apresentados na Tabela 7 ressaltaram diferenças significativas entre verão e inverno para ambas as precisões obtidas nos serviços de processamento. Houve diferenças estatísticas na componente “e” em ambos os serviços de processamento e em todos os intervalos de rastreio. Na componente “n” no CSRS-PPP em todos os intervalos de rastreio houve diferença significativa. Para o IBGE-PPP nessa componente não foram observadas diferenças estatísticas nos intervalos iniciais de rastreio (15 e 30 minutos).

Para a componente “up” no intervalo de rastreio de 120 minutos não houve diferenças significativas em ambos os serviços de processamento, considerando os climas seco e úmido. Nos demais intervalos, apenas em 45 minutos obtido com IBGE-PPP não apresentou diferença estatística.

Diante do exposto, os testes estatísticos também evidenciam, assim como as discrepâncias e as precisões, as diferenças apresentadas nos processamentos considerando climas diferentes, principalmente em relação ao CRSS-PPP, para intervalos de rastreio de 15 e 30 minutos. Conforma supracitado, isso tem relação com a solução das ambiguidades como números inteiros. Também ocorrem diferenças no caso do IBGE-PPP, porém, não de forma acentuada como no caso do CSRS-PPP.

De um total de 30 testes estatísticos, apenas em cinco ocasiões não ocorreram diferenças significativas entre os serviços, considerando os climas seco e úmido.

Do mesmo modo que foi apresentado o teste estatístico para a discrepância (Tabela 6), a Tabela 8 exhibe os *p-values* do teste de Wilcoxon Mann-Whitney para as precisões obtidas entre o IBGE-PPP e CSRS-PPP. Nessa abordagem, pretende-se avaliar se as precisões obtidas com IBGE-PPP têm diferenças significativas para o mesmo conjunto de dados processados e obtidos com CSRS-PPP.

Tabela 8 - p-value do Teste de Wilcoxon Mann-Whitney das precisões entre IBGE-PPP e CSRS-PPP (Estação AMCR)

		AMCR									
		Intervalo de Rastreo (minutos)									
		15		30		45		60		120	
		p-value	sign	p-value	sign	p-value	sign	p-value	sign	p-value	sign
e	verão	7.41E-13	Sim	9.01E-01	Não	4.04E-09	Sim	3.12E-13	Sim	4.94E-11	Sim
	inverno	3.18E-06	Sim	1.09E-10	Sim	4.84E-13	Sim	1.69E-17	Sim	1.69E-17	Sim
n	verão	6.82E-07	Sim	6.76E-01	Não	1.25E-09	Sim	9.12E-13	Sim	1.73E-08	Sim
	inverno	4.11E-06	Sim	1.09E-10	Sim	1.67E-12	Sim	2.48E-12	Sim	4.79E-02	Sim
up	verão	4.04E-09	Sim	3.58E-01	Não	1.15E-02	Sim	8.50E-02	Não	4.30E-02	Sim
	inverno	1.77E-05	Sim	1.71E-06	Sim	1.87E-04	Sim	1.20E-02	Sim	2.57E-07	Sim

Ao adotar um nível de significância de 5%, foi constatado através da Tabela 8 que os *p-values* indicaram diferenças estatísticas nos intervalos de rastreo de 15, 45 e 120 minutos para todas as componentes. Para o intervalo rastreo de 30 minutos, as precisões no verão não apresentaram diferenças estatísticas. Já no intervalo de rastreo de 60 minutos, somente a componente “up” no clima úmido não apresentou diferenças estatística entre os serviços de processamento. De um total de 30 testes estatísticos, apenas em quatro ocasiões não ocorreram diferenças significativas entre os serviços de processamento. Apesar dos dois serviços aplicarem o mesmo método de posicionamento (PPP), conforme ilustra a tabela 03, algumas diferenças na modelagem ocorrem, como por exemplo, as funções de mapeamento da troposfera e a máscara de elevação adotada. A possibilidade de solução de ambiguidade em conjunto com as diferenças apresentadas na tabela 3 foram responsáveis pelas diferenças estatísticas encontradas.

Por fim, visando uma exploração complementar dos resultados, a Tabela 9 apresenta o RMSE das componentes e, n e up no SGL. A comparação dos resultados foi conduzida entre os serviços de processamento IBGE-PPP e CSRS-PPP, considerando distintos contextos climáticos, representados pelo verão e inverno.

Tabela 9 - RMSE da estação AMCR

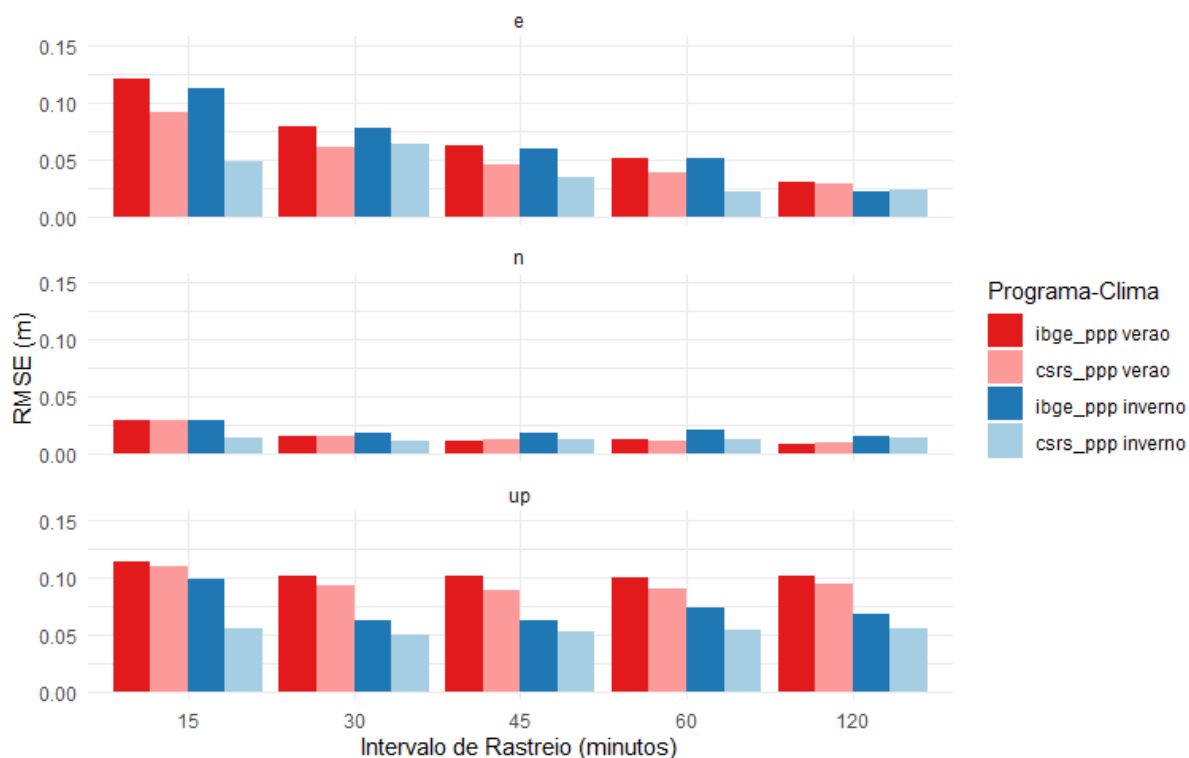
		AMCR					
		Intervalo de rastreo					
		15 minutos	30 minutos	45 minutos	60 minutos	120 minutos	
		RMSE (m)	RMSE (m)	RMSE (m)	RMSE (m)	RMSE (m)	
e	ibge	verão	0.121	0.079	0.062	0.051	0.030
	csrs	verão	0.092	0.060	0.045	0.039	0.029
	ibge	inverno	0.113	0.078	0.059	0.051	0.022
	csrs	inverno	0.048	0.064	0.034	0.022	0.022
n	ibge	verão	0.030	0.015	0.012	0.012	0.008
	csrs	verão	0.030	0.015	0.013	0.012	0.010
	ibge	inverno	0.029	0.019	0.018	0.021	0.015
	csrs	inverno	0.014	0.011	0.013	0.012	0.014
up	ibge	verão	0.113	0.101	0.101	0.100	0.101
	csrs	verão	0.110	0.093	0.089	0.090	0.094
	ibge	inverno	0.098	0.062	0.062	0.073	0.068
	csrs	inverno	0.055	0.050	0.053	0.054	0.056

Foi constatado que os maiores valores de RMSE foram registrados com o IBGE-PPP no intervalo de rastreo de 15 minutos, com valores de 0.121m e 0.113m para componente “e”, no verão e inverno, respectivamente; e 0.113m para a componente “up” no verão. Por outro lado, o menor valor foi alcançado com o IBGE-PPP, apresentando apenas 0.008m no intervalo de 120 minutos na componente “n”. Notavelmente, entre os valores de RMSE na escala decimétrica, somente um valor foi identificado com o CSRS-PPP (verão – 15 minutos), enquanto sete foram observados com o IBGE-PPP. É importante ressaltar que, na componente "up", todos os valores registrados pelo IBGE-PPP durante o verão (clima úmido) foram decimétricos.

No CSRS-PPP, considerando o clima úmido, nenhum valor de RMSE ultrapassou 0.070m. Na componente “n” nenhum valor ultrapassou 0.020m.

A seguir, o Gráfico 4 resume as informações apresentadas pela Tabela 9 em forma de gráfico de barras.

Gráfico 4 - Gráfico de barras dos valores de RMSE obtidos na estação AMCR



No verão e inverno nota-se na componente “e” que o aumento do intervalo de rastreo contribui para uma redução nos RMSEs em ambos os serviços de processamento. Nas componentes “n” e “up” houve pouca variação em função do intervalo de rastreo.

Remetendo ao Gráfico 1, que apresenta a porcentagem da solução das ambiguidades no serviço de processamento CSRS-PPP, pode ser realizada uma observação importante quanto a melhora do RMSE no intervalo inicial de rastreo (15 minutos) no inverno em relação ao verão. Neste intervalo, no verão, não houve solução da ambiguidade, já no inverno apenas 5 dias não alcançaram soluções. Desta maneira, é possível inferir que a solução da ambiguidade reverberou de forma positiva nos valores de RMSE, principalmente em “e” e “up”.

Nas componentes “e” e “up” fica evidente uma pequena superioridade do CSRS-PPP em relação ao IBGE-PPP, principalmente no clima seco, com exceção da componente “e” no intervalo de rastreo de 120 minutos.

É válido notar que ambos os serviços de processamento apresentam melhoras de RMSE no clima seco em relação ao clima úmido, com exceção da componente “n”,

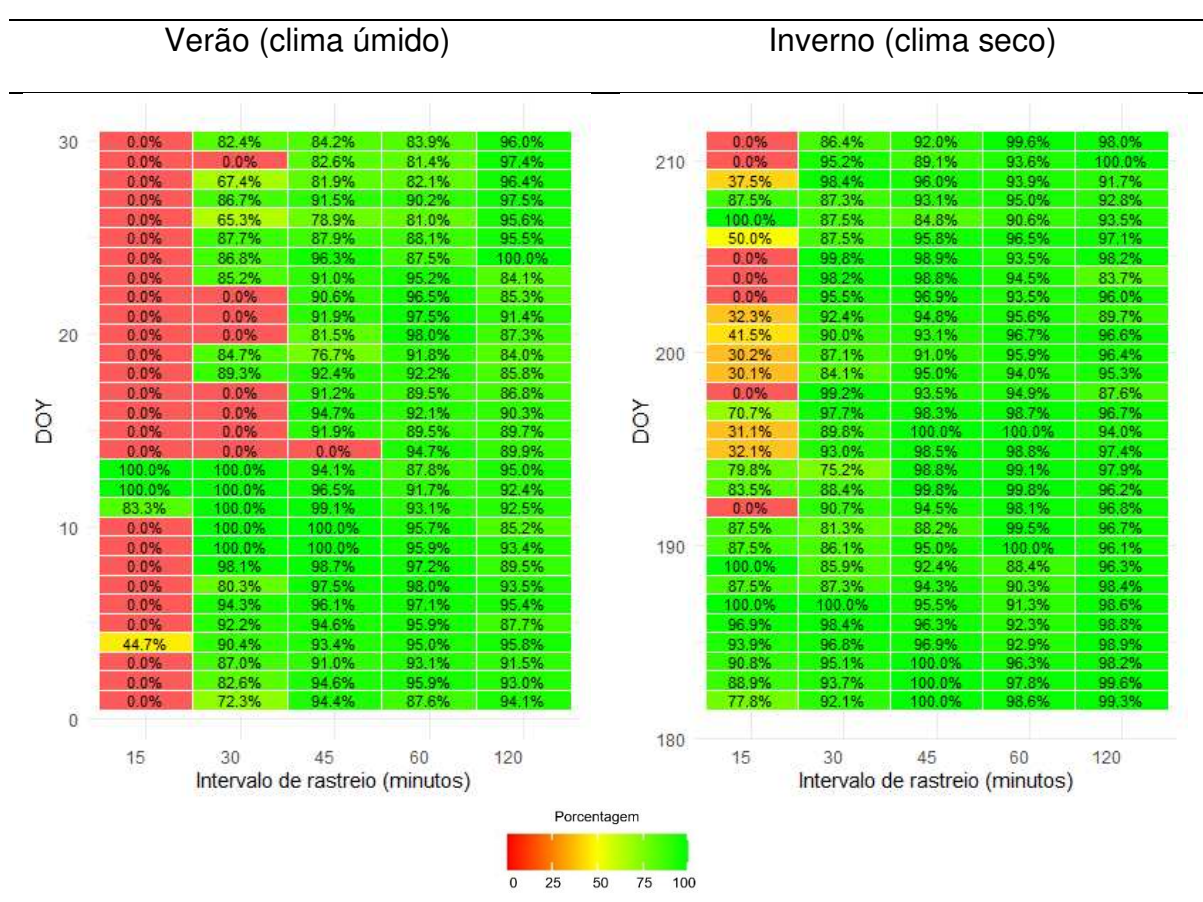
entretanto os valores de RMSE nesta componente já são bem inferiores comparados à “e” e “up”.

Os resultados apresentados se associam a Kouba *et al.*, (2017) que alega que a solução das ambiguidades reflete numa redução do período de convergência e uma melhora na componente “e”. Ao observar-se o comportamento do CSRS-PPP, no verão em 15 minutos de rastreo, onde não foi solucionada a ambiguidade, e comparar ao inverno, que obteve altas taxas de soluções, pode ser detectada uma melhoria significativa de RMSE.

6.2 ESTAÇÃO BRAZ

Na estação BRAZ, a porcentagem das soluções de ambiguidades alcançadas durante o processamento realizado pelo CSRS-PPP ao longo dos dias do ano adotados nesta pesquisa podem ser visualizadas no Gráfico 5.

Gráfico 5 - Porcentagem de Solução das Ambiguidades GPS no CSRS-PPP (Estação BRAZ)



No Gráfico 5 é possível notar que durante o verão, considerando o intervalo de rastreio de 15 minutos, que quatro dias apresentaram soluções das ambiguidades com porcentagens de 44,7%, 83,3%, 100% e 100%. Notar que a estação BRAZ está localizada em um local mais seco do que em relação a estação AMCR (ver Figura 01), o que pode ter contribuído para que a solução das ambiguidades para os 4 dias. Nos demais dias, as taxas de soluções foram nulas. No dia 14, apenas os intervalos de 60 e 120 minutos apresentaram solução das ambiguidades, sendo as taxas de soluções

iguais 94,7% e 89,9%, respectivamente. Neste dia específico, foi verificado através de dados do Instituto Nacional de Meteorologia que não houve precipitação na localidade da estação, entretanto, a umidade do ar aferida no Distrito Federal apresentou valores máximos de 82% no dia e horário do rastreamento dos dados desta estação. Nos dias adjacentes (13/01 e 15/01) também não foram observadas precipitações no horário do rastreamento dos dados, além disso a umidade do ar apresentou valores inferiores ao obtido no dia 14/01.

Ainda no verão, para o intervalo de rastreamento de 30 minutos, 8 dias apresentaram taxa de solução das ambiguidades iguais a 0%, nos demais dias houve uma variação dessa taxa de 65,3% a 100%. Contudo, no caso da estação AMCR (maiores níveis de umidade), para intervalos de 30 minutos, 16 dias apresentaram taxa de solução das ambiguidades iguais a 0%. Para os intervalos de rastreamento de 45, 60 e 120 minutos (estação BRAZ), as taxas de soluções apresentaram valores próximos de 90%, com exceção do dia 14, como mencionado.

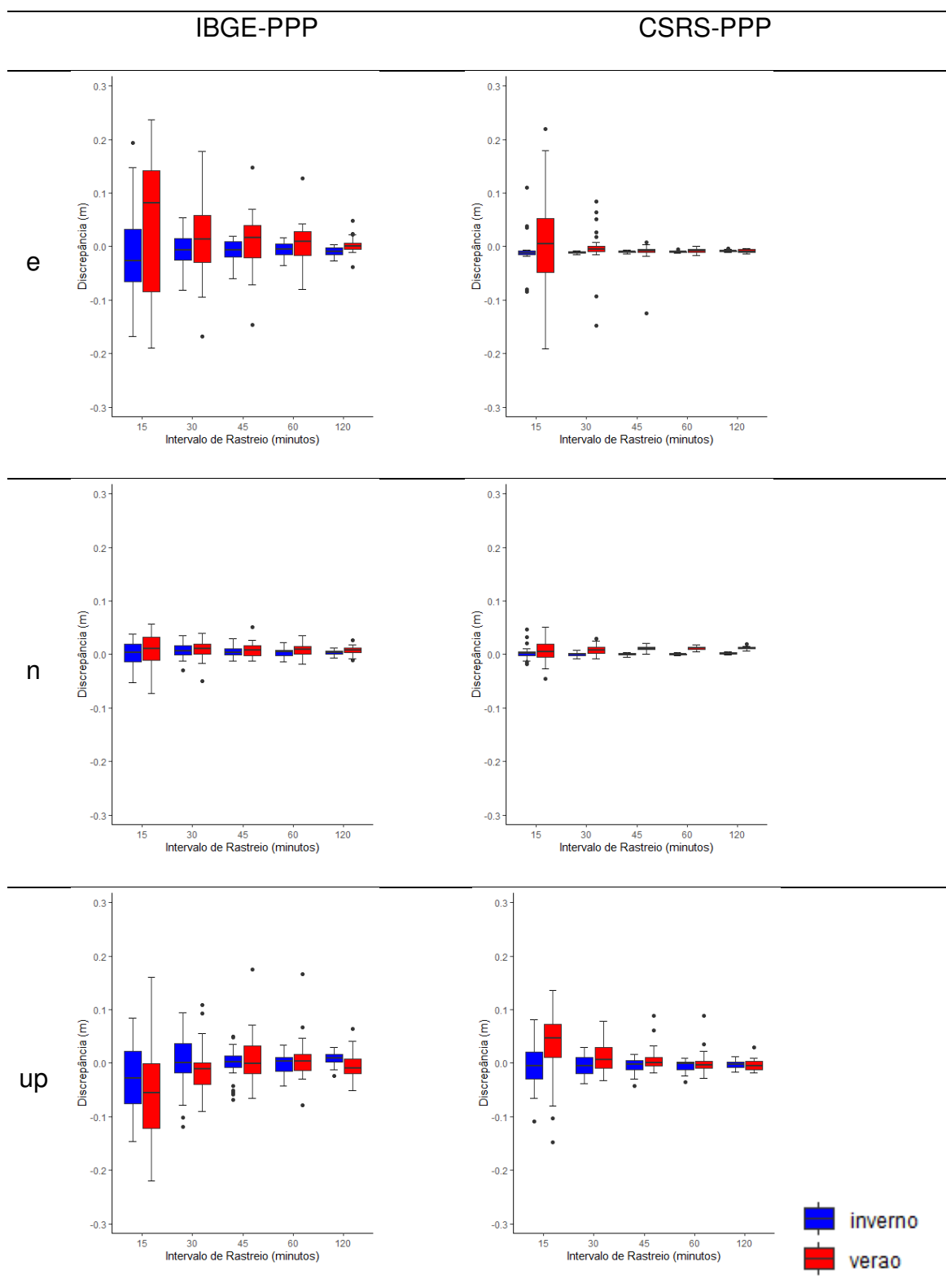
Durante o inverno, observou-se uma melhoria significativa no comportamento da solução de ambiguidades em comparação ao verão, especialmente no intervalo de rastreamento de 15 minutos. Notavelmente, apenas 7 dias não registraram soluções de ambiguidades, enquanto nos demais dias as taxas variaram de 30% a 100%.

No intervalo de rastreamento de 30 minutos, durante o inverno, todos os dias registraram taxas de solução superiores a 75%. Para intervalos mais longos, as soluções mantiveram-se consistentes em torno de 90%.

Theodoro (2020) avaliou esta estação no seu trabalho e detectou soluções das ambiguidades em ambos os climas seco e úmido para as configurações dos diferentes tipos de correções troposférica testadas.

Com intuito de realizar uma análise para investigar as diferenças entre os resultados obtidos com os serviços de processamento, o Gráfico 6 ilustra as discrepâncias posicionais por meio de *boxplots*, representando um conjunto de dados compilados ao longo de 30 dias durante as estações de verão e inverno.

Gráfico 6 - Discrepâncias entre Verão e Inverno (Estação BRAZ)



Ao analisar o Gráfico 6, tornou-se evidente que a amplitude interquartil dos dados de inverno é menor do que a dos dados no período do verão. Além disso, foi perceptível que, no intervalo de rastreamento de 15 minutos do CSRS-PPP para a

componente “e”, no verão, esta amplitude mostrou-se considerável. Em contrapartida, no período de inverno (clima seco), com o aumento da taxa de solução da ambiguidade, o intervalo interquartil diminui significativamente. Essa melhora também ocorre na componente “n”, porém, de forma menos acentuada. Na componente “up” não ocorre melhora significativa na dispersão dos resultados, porém, os dados ficam menos tendenciosos, evidenciando a contribuição da solução da ambiguidade.

Foi notado que a amplitude interquartil dos resultados obtidos com CSRS-PPP foi menor em comparação com aqueles obtidos pelo IBGE-PPP. Este padrão foi detectado em todas as componentes, tanto nos dados de inverno quanto nos de verão, com uma ênfase especial na componente “e”.

Com intuito de corroborar com a análise, foi realizado o teste estatístico de Wilcoxon Mann-Whitney, que vai exibir se houve diferença significativa entre as estações verão e inverno nos diferentes intervalos de rastreo, mas no mesmo serviço de processamento. O resultado (*p-value*) dos testes de Wilcoxon Mann-Whitney foram compilados e apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - *p-value* do Teste de Wilcoxon Mann-Whitney das discrepâncias entre Verão e Inverno (Estação BRAZ)

BRAZ											
Intervalo de Rastreo (minutos)											
		15		30		45		60		120	
		<i>p-value</i>	sign	<i>p-value</i>	sign	<i>p-value</i>	sign	<i>p-value</i>	sign	<i>p-value</i>	sign
e	ibge	1.23E-01	Não	1.16E-01	Não	5.71E-02	Não	8.23E-02	Não	1.77E-05	Sim
	csrs	1.64E-01	Não	1.53E-04	Sim	5.14E-02	Não	1.36E-02	Sim	5.82E-01	Não
n	ibge	1.73E-01	Não	5.32E-01	Não	3.74E-01	Não	3.45E-02	Sim	4.31E-03	Sim
	csrs	5.42E-01	Não	4.65E-07	Sim	5.93E-14	Sim	1.69E-17	Sim	1.69E-17	Sim
up	ibge	2.03E-01	Não	1.03E-01	Não	7.30E-01	Não	6.54E-01	Não	2.11E-03	Sim
	csrs	2.34E-03	Sim	4.96E-02	Sim	1.34E-01	Não	4.32E-01	Não	4.06E-01	Não

Com um nível de significância de 5%, foi constatado através da Tabela 10 que as diferenças significativas variaram nos diferentes intervalos de rastreo, sendo mais prevalentes no intervalo de 120 minutos. Ainda neste intervalo, observou-se que, para o IBGE-PPP, todas as componentes apresentaram diferenças significativas, enquanto que, para o CSRS-PPP, apenas a componente "n" mostrou diferença entre verão e inverno.

No intervalo de rastreo de 30 minutos, no CSRS-PPP foram observadas diferenças estatísticas em todas as componentes. Já no IBGE-PPP, neste intervalo, não foram observadas diferenças significativas.

Para a componente Up, foram observadas diferenças estatísticas nos intervalos iniciais (15 e 30 minutos) com o CSRS-PPP, já no IBGE-PPP, apenas no intervalo de 120 minutos foi observado diferença significativa.

A Tabela 11 apresenta o resultado do teste de Wilcoxon Mann-Whitney entre os serviços de processamento.

Tabela 11 - p-value do Teste de Wilcoxon Mann-Whitney das discrepâncias entre IBGE-PPP e CSRS-PPP (Estação BRAZ)

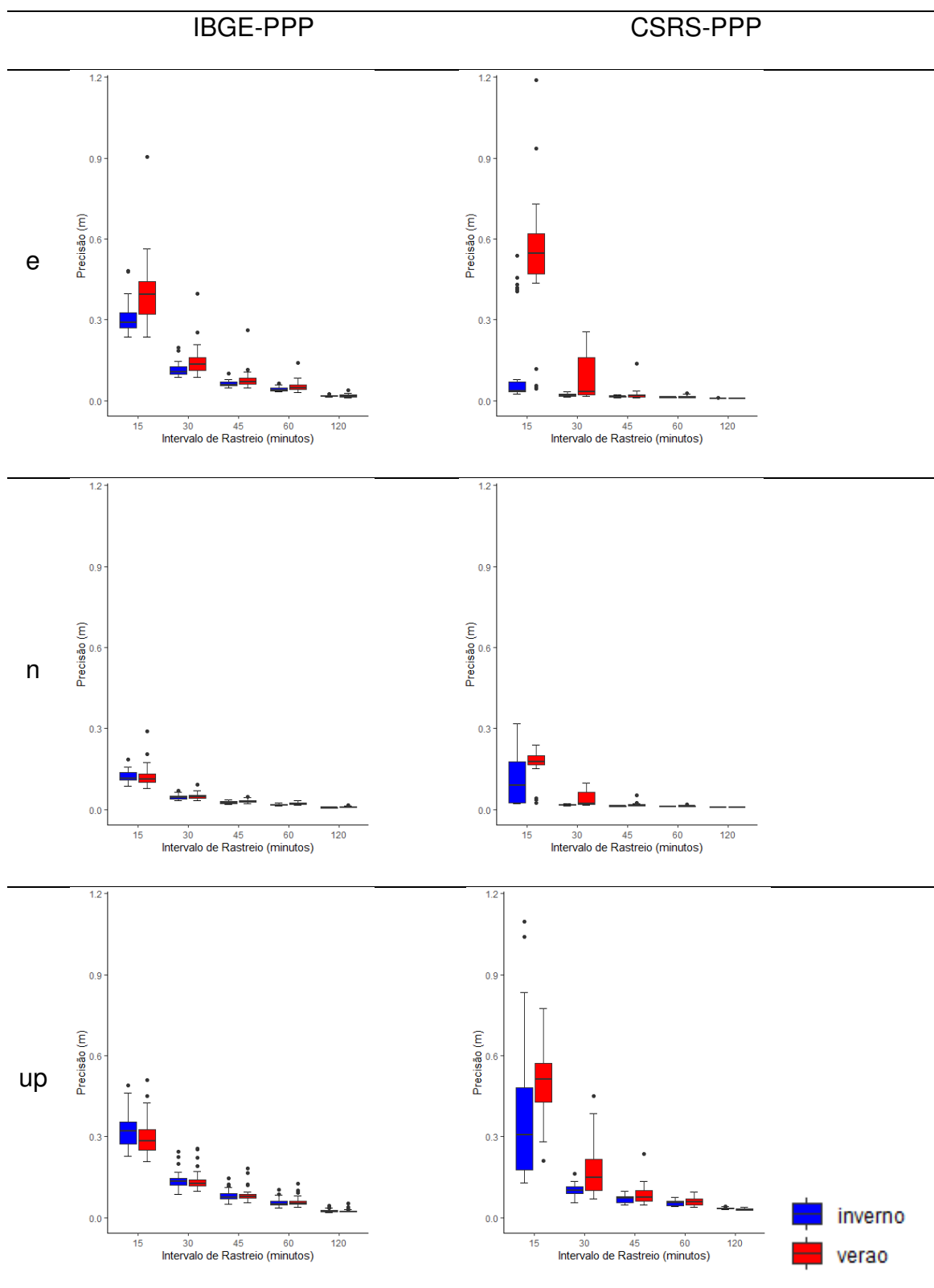
		BRAZ									
		Intervalo de Rastreo (minutos)									
		15		30		45		60		120	
		p-value	sign	p-value	sign	p-value	sign	p-value	sign	p-value	sign
e	verão	2.54E-01	Não	1.55E-01	Não	2.96E-02	Sim	2.34E-02	Sim	2.10E-07	Sim
	inverno	6.33E-01	Não	2.42E-01	Não	4.67E-01	Não	3.19E-02	Sim	5.52E-01	Não
n	verão	5.52E-01	Não	5.52E-01	Não	2.73E-01	Não	1.30E-01	Não	8.38E-03	Sim
	inverno	9.01E-01	Não	5.50E-03	Sim	1.55E-02	Sim	1.99E-02	Sim	1.25E-02	Sim
up	verão	6.26E-05	Sim	1.10E-02	Sim	5.72E-01	Não	9.47E-01	Não	3.82E-01	Não
	inverno	1.16E-01	Não	2.30E-01	Não	3.66E-01	Não	2.08E-01	Não	1.43E-04	Sim

Com um nível de significância de 5%, constatou-se, através da Tabela 11, que ocorreram diferenças significativas entre as discrepâncias obtidas nos serviços de processamento IBGE-PPP e CSRS-PPP de maneira distinta ao longo dos intervalos de rastreo. As maiores quantidades de diferenças foram observadas nos intervalos de rastreo de 120 minutos, em que apenas a componente "e" no inverno e a componente "up" no verão não apresentaram diferenças significativas.

Para a componente "up" os intervalos iniciais (15 e 30 minutos) apresentaram diferenças significativas no clima úmido.

As precisões das coordenadas cartesianas geocêntricas obtidas nos dois serviços de processamento (IBGE-PPP e CSRS-PPP) foram propagadas para o SGL para realização das análises e o Gráfico 7 apresenta o *boxplot* de um conjunto de precisões de 30 dias de clima seco e 30 dias de clima úmido obtidas no IBGE-PPP e CSRS-PPP.

Gráfico 7 - Precisão entre Verão e Inverno (Estação BRAZ)



A análise dos *boxplots* presentes no Gráfico 7 para o CSRS-PPP evidencia o declínio das precisões do inverno na componente “e” em relação com o verão, para os intervalos de rastreo de 15 e 30 minutos. No IBGE-PPP, nesta componente “e”,

também pode ser observado valores de precisões menores no clima seco em relação ao clima úmido. Contudo, as precisões neste serviço de processamento foram melhorando gradativamente em relação ao aumento do intervalo de rastreoio.

Pode-se observar que houve um aumento nas precisões durante o intervalo inicial de rastreamento (15 minutos) obtido no CSRS-PPP em comparação com IBGE-PPP, exceto para a componente “e” no clima seco. Entretanto, a partir do intervalo de rastreoio de 30 minutos, as precisões obtidas no serviço do NRCan, para o clima seco estabilizaram-se nas componentes “e” e “n”, já a componente “up” houve uma melhora gradual ao longo dos intervalos de rastreoio.

Foi realizado o teste estatístico de Wilcoxon Mann-Whitney para averiguar se houve diferenças significativas entre os resultados das precisões obtidas com os serviços de processamento IBGE-PPP e CSRS-PPP em diferentes climas. Desta forma é apresentado na Tabela 12 os *p-values* do teste estatístico e respectivamente se houve diferença significativa na precisão entre os climas nos serviços de processamento.

Tabela 12 - p-value do Teste de Wilcoxon Mann-Whitney das precisões entre Verão e Inverno (Estação BRAZ)

		BRAZ									
		Intervalo de Rastreoio (minutos)									
		15		30		45		60		120	
		p-value	sign	p-value	sign	p-value	sign	p-value	sign	p-value	sign
e	ibge	1.64E-04	Sim	2.47E-03	Sim	1.36E-02	Sim	4.62E-02	Sim	4.49E-01	Não
	csrs	1.54E-11	Sim	4.70E-05	Sim	5.14E-02	Não	9.35E-02	Não	1.86E-09	Sim
n	ibge	5.42E-01	Não	3.50E-01	Não	2.74E-03	Sim	2.60E-05	Sim	9.92E-07	Sim
	csrs	1.44E-03	Sim	6.64E-08	Sim	5.34E-08	Sim	8.32E-10	Sim	6.54E-01	Não
up	ibge	1.09E-01	Não	6.76E-01	Não	4.06E-01	Não	2.42E-01	Não	7.52E-01	Não
	csrs	6.88E-04	Sim	1.61E-03	Sim	1.38E-01	Não	3.07E-01	Não	3.54E-04	Sim

Os resultados dos testes estatísticos apresentados na Tabela 12 ressaltaram diferenças significativas entre verão e inverno para ambas as precisões obtidas nos serviços de processamento. No caso do CSRS-PPP, foram observadas diferenças estatisticamente significativas em todas as componentes para os intervalos de rastreoio de 15 e 30 minutos. Nos intervalos de 45 e 60 minutos, as componentes "e" e "up" não demonstraram diferenças estatísticas. No entanto, no intervalo de 120 minutos as componentes “e” e “up” apresentaram diferenças significativas.

Por outro lado, em relação ao IBGE-PPP, a componente “up” não apresentou diferença significativa em nenhum intervalo de rastreo. Contudo a componente “e” apresentou diferença significativa em todos os intervalos de rastreo, exceto em 120 minutos. Já na componente “n” os intervalos de rastreo acima de 45 minutos apresentaram diferenças estatísticas.

A Tabela 13 apresenta os p-values do teste de Wilcoxon Mann-Whitney comparando as precisões entre o IBGE-PPP e o CSRS-PPP.

Tabela 13 - p-value do Teste de Wilcoxon Mann-Whitney das precisões entre IBGE-PPP e CSRS-PPP (Estação BRAZ)

		BRAZ									
		Intervalo de Rastreo (minutos)									
		15		30		45		60		120	
		p-value	sign	p-value	sign	p-value	sign	p-value	sign	p-value	sign
e	verão	8.30E-05	<i>Sim</i>	5.76E-04	<i>Sim</i>	3.89E-13	<i>Sim</i>	1.69E-17	<i>Sim</i>	1.69E-17	<i>Sim</i>
	inverno	1.25E-04	<i>Sim</i>	1.69E-17	<i>Sim</i>	1.69E-17	<i>Sim</i>	1.69E-17	<i>Sim</i>	1.69E-17	<i>Sim</i>
n	verão	5.43E-05	<i>Sim</i>	1.16E-03	<i>Sim</i>	1.37E-12	<i>Sim</i>	2.35E-15	<i>Sim</i>	1.26E-07	<i>Sim</i>
	inverno	7.19E-01	Não	1.69E-17	<i>Sim</i>	1.69E-17	<i>Sim</i>	6.76E-17	<i>Sim</i>	1.20E-02	<i>Sim</i>
up	verão	1.43E-09	<i>Sim</i>	4.95E-01	Não	6.76E-01	Não	7.19E-01	Não	2.45E-06	<i>Sim</i>
	inverno	4.85E-01	Não	6.25E-06	<i>Sim</i>	1.19E-01	Não	5.92E-01	Não	3.43E-08	<i>Sim</i>

Ao adotar um nível de significância de 5%, foi possível identificar através da Tabela 13 que ocorreram diferenças significativas entre as precisões dos serviços de processamento IBGE-PPP e CSRS-PPP nas componentes “e” e “n” em ambos os climas úmido e seco para todos os intervalos de rastreo, exceto na componente “n” no intervalo de 15 minutos no clima seco.

Na componente “up”, foi notado diferença significativa entre os serviços de processamento no verão nos intervalos de rastreo de 15 e 120 minutos e no inverno nos intervalos de rastreo de 30 e 120 minutos.

Por fim, a Tabela 14 apresenta o RMSE das componentes e, n e up no SGL.

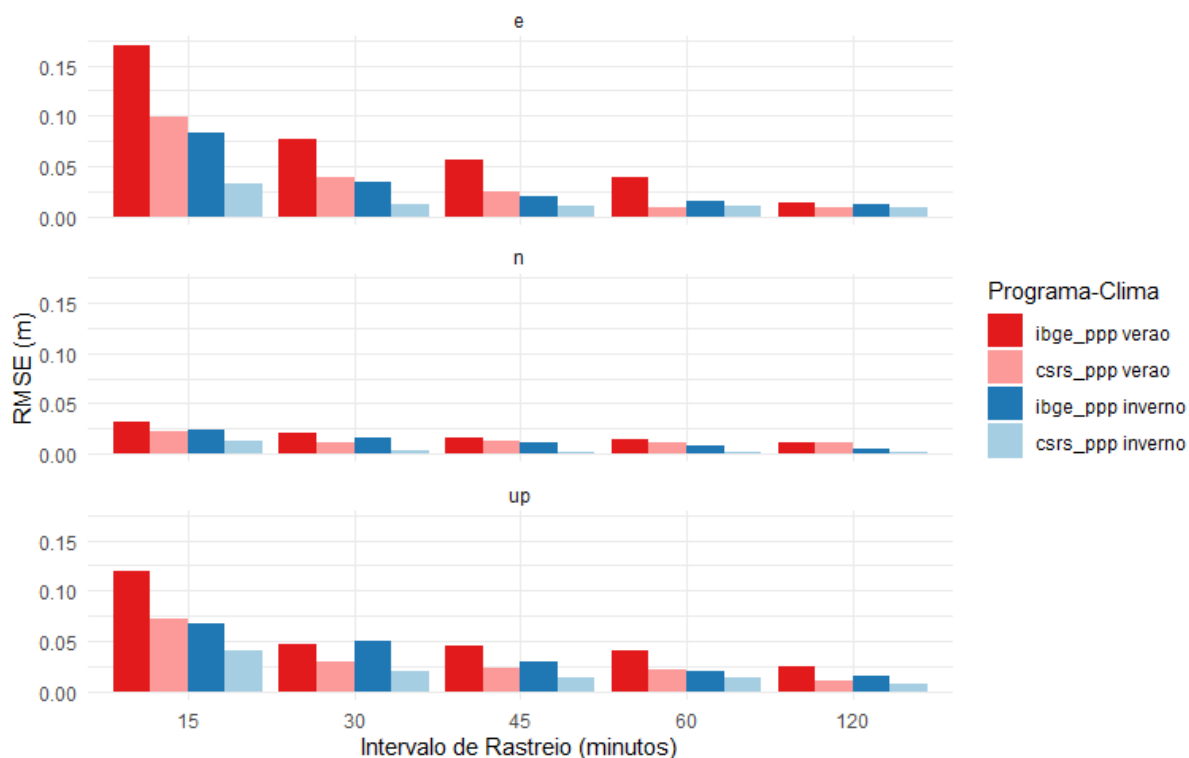
Tabela 14 - RMSE da estação BRAZ

		BRAZ				
		Intervalo de rastreo				
		15 minutos	30 minutos	45 minutos	60 minutos	120 minutos
		RMSE (m)	RMSE (m)	RMSE (m)	RMSE (m)	RMSE (m)
e	ibge verão	0.169	0.076	0.055	0.039	0.014
	csrs verão	0.099	0.040	0.025	0.009	0.009
	ibge inverno	0.083	0.034	0.021	0.015	0.013
	csrs inverno	0.033	0.011	0.010	0.010	0.008
n	ibge verão	0.032	0.020	0.016	0.014	0.011
	csrs verão	0.022	0.012	0.012	0.012	0.012
	ibge inverno	0.023	0.016	0.011	0.009	0.006
	csrs inverno	0.013	0.004	0.002	0.001	0.002
up	ibge verão	0.119	0.047	0.045	0.040	0.024
	csrs verão	0.072	0.029	0.023	0.021	0.011
	ibge inverno	0.068	0.050	0.029	0.020	0.015
	csrs inverno	0.040	0.020	0.014	0.013	0.007

Foi constatado através da Tabela 14 que os maiores valores de RMSE foram registrados com o IBGE-PPP, com ênfase para 0.169m obtido no intervalo de rastreo de 15 minutos na componente “e” no verão, outro valor decimétrico notado neste mesmo serviço de processamento foi na componente “up” no verão (15 minutos) apresentando 0.119m. No CSRS-PPP todos os valores de RMSE obtidos ficaram abaixo de 0.100m.

A seguir, o Gráfico 8 apresenta as informações expostas pela Tabela 14 em forma de gráfico de barras.

Gráfico 8 - Gráfico de barras dos valores de RMSE obtidos na estação BRAZ



No Verão, ambos serviços de processamento demonstram uma sensibilidade de melhora notável ao aumento do intervalo de rastreamento, com uma queda expressiva nos RMSEs, principalmente na componente “e”.

O padrão é mantido no Inverno, porém cabe destacar que os valores de RMSE observados nos intervalos curtos são bem melhores do que aqueles obtidos no mesmo intervalo de rastreamento durante o clima úmido.

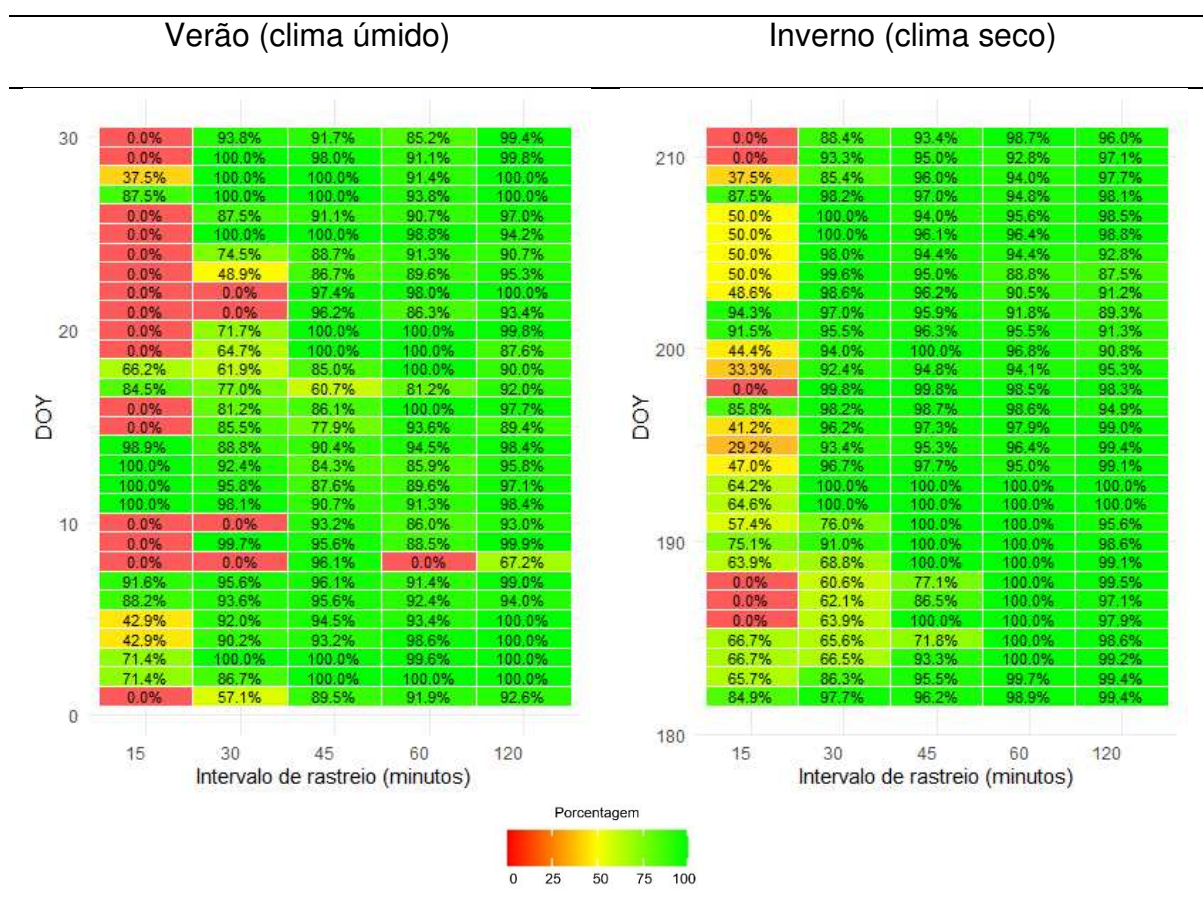
Foi possível observar que nas componentes “e” e “up” verificou-se uma melhora no RMSE em função do intervalo de rastreamento. Na componente “n” houve pouca variação em função do intervalo de rastreamento.

Em comparação entre os dois serviços, o CSRS-PPP destaca-se mais uma vez ao apresentar resultados superiores em relação ao IBGE-PPP, especialmente nos intervalos de rastreamento mais curtos.

6.3 ESTAÇÃO CUIB

Na estação CUIB, a porcentagem das soluções de ambiguidades alcançadas durante o processamento realizado pelo CSRS-PPP ao longo dos dias do ano podem ser visualizadas no Gráfico 9.

Gráfico 9 - Porcentagem de Solução das Ambiguidades GPS no CSRS-PPP (Estação CUIB)



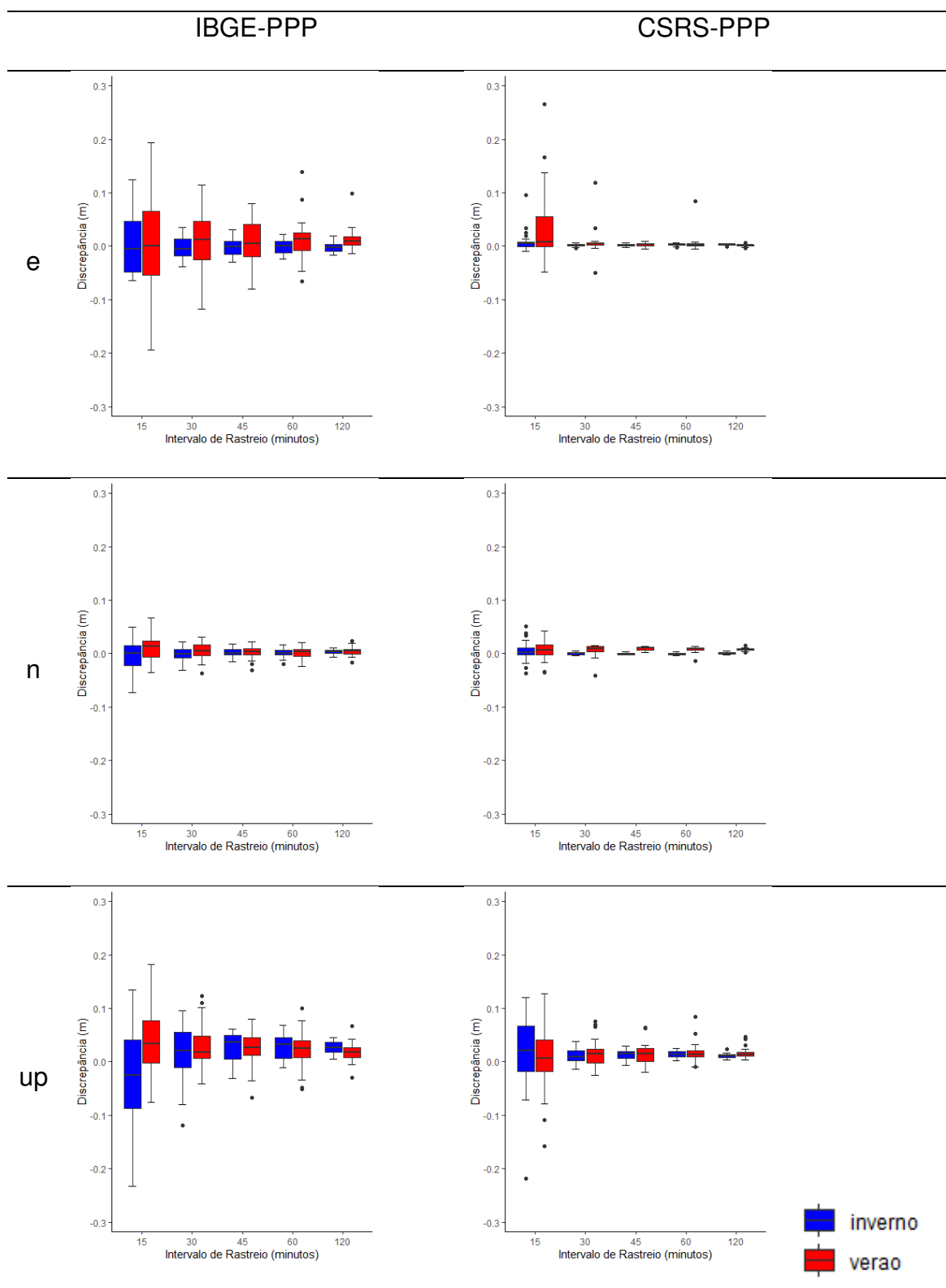
No Gráfico 9 é possível notar novamente a influência do clima na solução das ambiguidades. Durante o verão, considerando o intervalo de rastreo de 15 minutos, a maior parte dos dias apresentaram taxa de solução da ambiguidade igual a 0%, mas ainda houve casos que foram solucionadas com altas porcentagens. No intervalo de 30 minutos, embora alguns dias tenham apresentado soluções nulas (4 dias), a maioria registrou porcentagens de soluções de ambiguidades superiores a 80%. Nota-se uma melhora significativa a partir de 45 minutos de intervalo de rastreamento. Porém, destaca-se que no dia 08/01 houve um caso em que não foi solucionada a ambiguidade (taxa igual a 0 %) no intervalo de 60 minutos. Foram analisados dados

de precipitação disponíveis no portal do Instituto Nacional de Meteorologia neste dia e local e não foi registrado precipitações no horário de coleta dos dados. Foram ainda analisados os resultados referentes ao mesmo período de rastreo de dias anteriores (06 e 07 de janeiro) e não foram observados valores maiores das estimativas da componente úmida, bem como maiores valores das precisões das estimativas.

O comportamento da solução das ambiguidades durante o inverno foi superior ao verão, principalmente nos intervalos de rastreamento menores (15 e 30 minutos). O clima seco resultou em porcentagens de soluções acima de 50% para os intervalos de rastreamento de 15 minutos e acima de 80% para intervalos de rastreamento de 30 minutos, com algumas exceções, conforme ilustra o Gráfico 9.

O Gráfico 10 ilustra as discrepâncias posicionais através de *boxplots*, os quais foram compilados ao longo de 30 dias durante o verão e outros 30 dias durante o inverno, considerando os intervalos de rastreamento adotados na pesquisa.

Gráfico 10 - Discrepâncias entre Verão e Inverno (Estação CUIB)



Ao analisar o Gráfico 10 foi possível notar o comportamento da componente “e” no CSRS-PPP que apresentou valores menos dispersos no clima seco em relação ao clima úmido para o intervalo de rastreamento de 15 minutos, que coincide com os casos em que a solução das ambiguidades fora na maioria das vezes solucionadas, mesmo com porcentagens acima de 50%. Nos intervalos superiores a 30 minutos de rastreamento foi notado poucas variações entre as amplitudes interquartis no verão e inverno, o que indica que o valor da discrepância posicional se estabilizou.

É importante salientar que ainda na componente “e”, as discrepâncias obtidas com o CSRS-PPP apresentou valores menos dispersos em comparação com IBGE-PPP, com ênfase no clima seco, que desde o intervalo inicial (15 minutos) apresentou-se uma dispersão bem reduzida. Entretanto, o IBGE-PPP apresentou menores amplitudes interquartis no clima seco em comparação com clima úmido para esta componente.

Na componente “up” houve um caso no intervalo de rastreamento de 15 minutos para o CSRS-PPP em que a discrepância obtida no inverno apresentou amplitude interquartil maior que a obtida no verão. Nos demais intervalos de rastreamento essa amplitude ficou próxima entre os climas. Enquanto no IBGE-PPP, essa componente apresentou-se com maior amplitude interquartil para os dados de inverno em todos os intervalos de rastreamento.

A amplitude interquartil dos resultados obtidos com CSRS-PPP foi menor em comparação com aqueles obtidos pelo IBGE-PPP. Este padrão foi observado em todas as componentes, tanto nos dados de inverno, quanto nos de verão.

Com intuito de corroborar com a análise, foi realizado o teste estatístico de Wilcoxon Mann-Whitney, que vai exibir se houve diferença significativa entre verão e inverno nos diferentes intervalos de rastreamento, mas no mesmo serviço de processamento. O resultado (*p-value*) dos testes de Wilcoxon Mann-Whitney foram compilados e apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 - p-value do Teste de Wilcoxon Mann-Whitney das discrepâncias entre Verão e Inverno (Estação CUIB)

		CUIB									
		Intervalo de Rastreio (minutos)									
		15		30		45		60		120	
		p-value	sign	p-value	sign	p-value	sign	p-value	sign	p-value	sign
e	ibge	8.09E-01	Não	1.82E-01	Não	3.50E-01	Não	1.62E-02	Sim	4.87E-06	Sim
	csrs	2.19E-01	Não	3.36E-03	Sim	2.79E-01	Não	7.08E-01	Não	8.68E-06	Sim
n	ibge	6.76E-02	Não	1.42E-01	Não	7.75E-01	Não	8.89E-01	Não	3.58E-01	Não
	csrs	6.54E-01	Não	1.94E-08	Sim	1.64E-15	Sim	9.12E-13	Sim	1.64E-15	Sim
up	ibge	4.53E-03	Sim	7.64E-01	Não	8.43E-01	Não	6.23E-01	Não	1.42E-02	Sim
	csrs	4.58E-01	Não	5.52E-01	Não	9.82E-01	Não	9.12E-01	Não	1.55E-02	Sim

Foi realizada uma análise para investigar as diferenças entre os resultados obtidos através dos processamentos com IBGE-PPP e CSRS-PPP, entre verão e inverno. Com um nível de significância de 5%, foi constatado através da Tabela 15 que as diferenças estatísticas variaram nos diferentes intervalos de rastreamento, sendo mais proeminentes no intervalo de 120 minutos. Ainda neste intervalo, observou-se que, para o CSRS-PPP, todas as componentes apresentaram diferenças significativas, enquanto que, para o IBGE-PPP, apenas a componente "n" não exibiu diferença entre verão e inverno.

A componente "e" no CSRS-PPP apresentou diferença significativa nos intervalos de rastreios de 30 e 120 minutos e a componente "n" nos intervalos de 30, 45, 60 e 120 minutos.

A Tabela 16 apresenta os resultados do teste de Wilcoxon Mann-Whitney entre os serviços de processamento.

Tabela 16 - p-value do Teste de Wilcoxon Mann-Whitney das discrepâncias entre IBGE-PPP e CSRS-PPP (Estação CUIB)

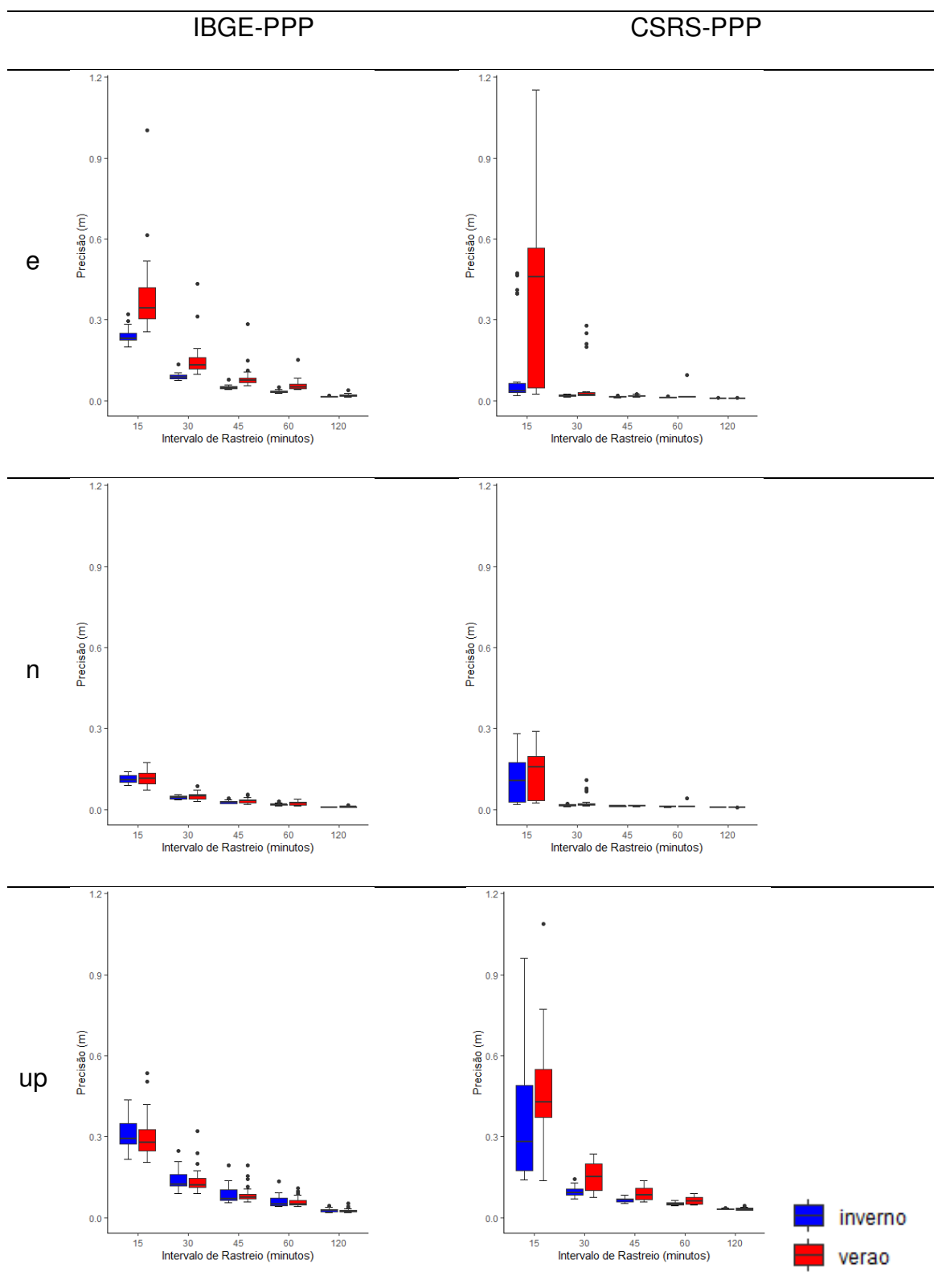
		CUIB									
		Intervalo de Rastreio (minutos)									
		15		30		45		60		120	
		p-value	sign	p-value	sign	p-value	sign	p-value	sign	p-value	sign
e	verão	2.66E-01	Não	3.98E-01	Não	6.44E-01	Não	1.30E-01	Não	2.75E-04	Sim
	inverno	3.35E-01	Não	2.42E-01	Não	5.72E-01	Não	3.14E-01	Não	1.99E-04	Sim
n	verão	2.86E-01	Não	6.12E-01	Não	4.76E-03	Sim	4.26E-04	Sim	2.53E-02	Sim
	inverno	3.14E-01	Não	8.89E-01	Não	1.50E-01	Não	1.50E-01	Não	2.60E-03	Sim
up	verão	4.15E-02	Sim	2.19E-01	Não	1.42E-02	Sim	6.54E-02	Não	3.35E-01	Não
	inverno	7.97E-02	Não	1.30E-01	Não	2.63E-02	Sim	5.51E-02	Não	2.18E-08	Sim

Com um nível de significância de 5%, foi possível detectar, através da Tabela 16, que ocorreram diferenças significativas entre os serviços de processamento IBGE-PPP e CSRS-PPP de forma concentrada no intervalo de rastreamento de 120 minutos, com exceção da componente "up" no verão. Para o intervalo inicial de rastreamento, apenas foi detectada diferença estatística na componente "up" no verão.

Para componente "up" também foi observado que no intervalo de 45 minutos de rastreamento houve diferenças significativas entre os serviços de posicionamento em ambos os climas.

As precisões das coordenadas cartesianas geocêntricas obtidas nos dois serviços IBGE-PPP e CSRS-PPP foram propagadas para o SGL para realização das análises. O Gráfico 11 apresenta o *boxplot* de um conjunto de precisões de 30 dias de clima seco e 30 dias de clima úmido obtidas no IBGE-PPP e CSRS-PPP nos intervalos de rastreamento estudados.

Gráfico 11 - Precisão entre Verão e Inverno (Estação CUIB)



A análise dos *boxplots* presentes no Gráfico 11 para o CSRS-PPP, na componente “e” evidencia o declínio da precisão do inverno em comparação com o

verão no intervalo de rastreo de 15 minutos. Para as componentes “n” e “up” neste serviço de processamento e neste intervalo, os valores obtidos de precisão foram próximos. Contudo é notada uma estabilização para as componentes “e” e “n” para intervalos acima de 30 minutos neste serviço de processamento. Na componente “up” foi observado o comportamento das precisões melhores no clima seco em relação ao clima úmido, entretanto as precisões melhoram de forma gradual com o aumento do intervalo de rastreo.

No IBGE-PPP é notado melhores precisões no clima seco em relação ao clima úmido nas componentes “e” e “n”, porém na componente “up” pode ser observado um comportamento um pouco melhor das precisões do clima úmido. Com relação ao intervalo de rastreo pode ser observado uma melhora gradual com o aumento de tempo.

Para evidenciar se houve diferenças significativas entre os resultados das precisões obtidas com os serviços de processamento IBGE-PPP e CSRS-PPP em diferentes climas foi realizado o teste estatístico de Wilcoxon Mann-Whitney e a Tabela 17 apresenta os *p-values* deste teste.

Tabela 17 - *p-value* do Teste de Wilcoxon Mann-Whitney das precisões entre Verão e Inverno (Estação CUIB)

		CUIB									
		Intervalo de Rastreo (minutos)									
		15		30		45		60		120	
		p-value	sign	p-value	sign	p-value	sign	p-value	sign	p-value	sign
e	ibge	3.12E-13	Sim	2.49E-13	Sim	2.70E-14	Sim	1.16E-14	Sim	6.64E-09	Sim
	csrs	1.02E-04	Sim	1.79E-03	Sim	1.92E-05	Sim	2.74E-08	Sim	2.49E-13	Sim
n	ibge	9.94E-01	Não	2.08E-01	Não	1.05E-02	Sim	2.47E-03	Sim	8.30E-05	Sim
	csrs	1.92E-01	Não	1.03E-03	Sim	5.76E-04	Sim	3.85E-02	Sim	3.53E-03	Sim
up	ibge	2.60E-01	Não	5.04E-01	Não	5.13E-01	Não	5.62E-01	Não	1.38E-01	Não
	csrs	1.10E-02	Sim	6.72E-05	Sim	5.43E-05	Sim	4.06E-05	Sim	4.15E-01	Não

Através da Tabela 17, foram identificadas diferenças significativas, a 5% de significância, para as precisões em todos os intervalos de rastreo na componente “e” entre os climas úmido e seco para IBGE-PPP e CSRS-PPP. O IBGE-PPP, mesmo sem a possibilidade de solução da ambiguidade, também mostra diferenças estatísticas entre os climas seco e úmido, evidenciando a melhora na precisão no clima úmido, com exceção da componente “up”

Na componente “n” foram observadas diferenças significativas entre verão e inverno para os intervalos de rastreo de 45, 60 e 120 em ambos os serviços de processamento, embora não seja possível verificar as diferenças visualmente no Gráfico 11 em função da escala do gráfico. Já nos intervalos menores, apenas em 30 minutos com CSRS-PPP foi observado diferença estatística nesta componente.

Para a componente “up” no IBGE-PPP, não foi observado diferença significativa em nenhum intervalo de rastreo. Notar que as medianas são muito similares (no inverno e verão). Já no CSRS-PPP, nesta componente, apenas no intervalo de 120 minutos de rastreo não houve diferença significativa entre os climas seco e úmido. Nos outros intervalos de rastreo pode-se notar claramente que as medianas não são similares. Inclusive, em alguns casos (30 e 45 minutos), o terceiro quartil das precisões no inverno é muito próxima do valor do primeiro quartil das precisões obtidas no verão.

Uma análise similar será conduzida, onde a Tabela 18 exhibe os *p-values* do teste de Wilcoxon Mann-Whitney para as precisões obtidas entre o IBGE-PPP e CSRS-PPP. Nesta abordagem, pretende-se avaliar se as precisões obtidas com IBGE-PPP têm diferenças significativas para o mesmo conjunto de dados processados e obtidos com CSRS-PPP.

Tabela 18 - p-value do Teste de Wilcoxon Mann-Whitney das precisões entre IBGE-PPP e CSRS-PPP (Estação CUIB)

		CUIB									
		Intervalo de Rastreo (minutos)									
		15		30		45		60		120	
		p-value	sign	p-value	sign	p-value	sign	p-value	sign	p-value	sign
e	verão	9.71E-01	Não	8.24E-08	Sim	1.69E-17	Sim	3.89E-13	Sim	1.69E-17	Sim
	inverno	3.51E-05	Sim	1.69E-17	Sim	1.69E-17	Sim	1.69E-17	Sim	1.69E-17	Sim
n	verão	6.86E-01	Não	6.64E-08	Sim	1.69E-17	Sim	1.37E-12	Sim	3.06E-08	Sim
	inverno	8.32E-01	Não	1.69E-17	Sim	1.69E-17	Sim	1.69E-17	Sim	7.08E-01	Não
up	verão	1.11E-05	Sim	7.86E-01	Não	3.35E-01	Não	1.62E-02	Sim	3.18E-06	Sim
	inverno	5.42E-01	Não	2.57E-07	Sim	1.25E-02	Sim	9.36E-01	Não	6.25E-06	Sim

Ao adotar um nível de significância de 5%, identificou-se através da Tabela 18 a presença de diferenças significativas entre as precisões obtidas nos serviços de processamento IBGE-PPP e CSRS-PPP concentradas nos intervalos de rastreo de 30, 45, 60 e 120 minutos.

Foi observado que no intervalo de rastreio inicial (15 minutos) houve apenas dois casos que apontaram diferença significativa da precisão entre os serviços de processamento. Na componente “e” no inverno e na componente “up” no verão.

Por fim, a Tabela 19 apresenta o RMSE das componentes e, n e up no SGL

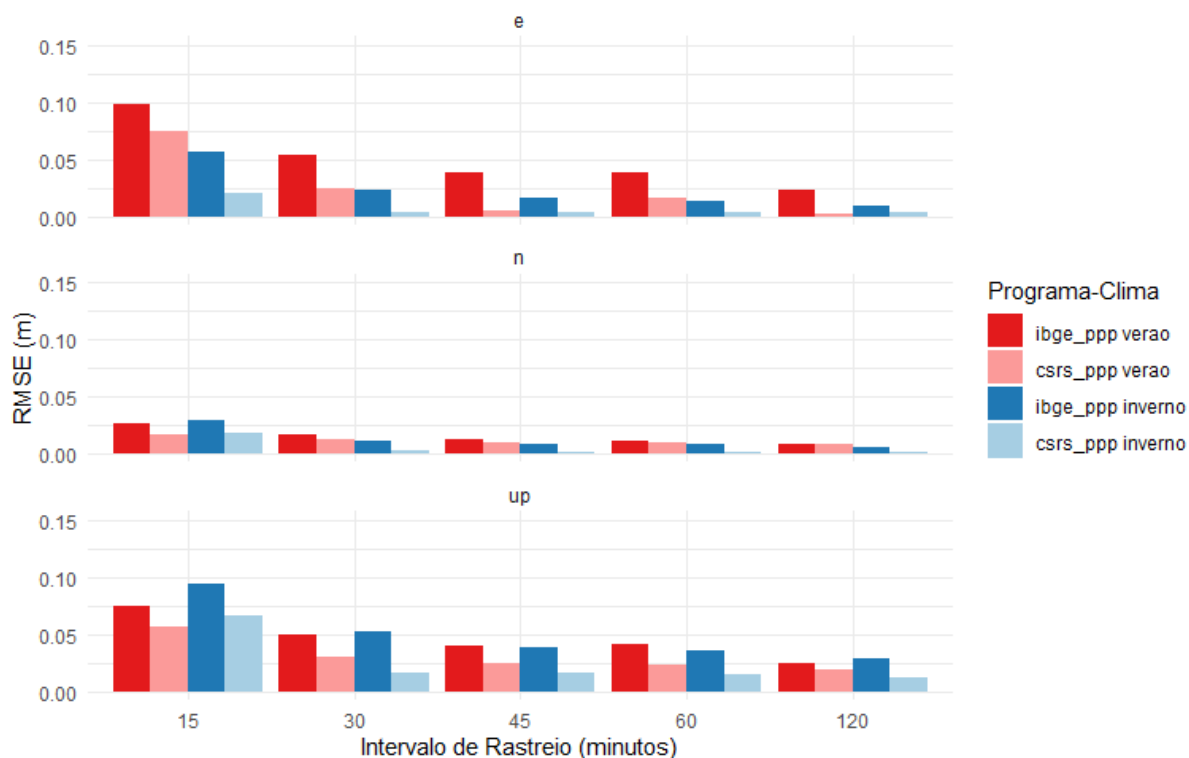
Tabela 19 - RMSE da estação CUIB

		CUIB					
		Intervalo de rastreio					
		15 minutos RMSE (m)	30 minutos RMSE (m)	45 minutos RMSE (m)	60 minutos RMSE (m)	120 minutos RMSE (m)	
e	ibge	verão	0.098	0.054	0.039	0.039	0.023
	csrs	verão	0.075	0.025	0.005	0.016	0.003
	ibge	inverno	0.057	0.023	0.017	0.013	0.009
	csrs	inverno	0.020	0.003	0.003	0.003	0.004
n	ibge	verão	0.026	0.016	0.012	0.011	0.009
	csrs	verão	0.017	0.012	0.010	0.010	0.008
	ibge	inverno	0.029	0.012	0.009	0.008	0.005
	csrs	inverno	0.018	0.002	0.002	0.002	0.002
up	ibge	verão	0.074	0.050	0.040	0.041	0.025
	csrs	verão	0.056	0.029	0.024	0.024	0.019
	ibge	inverno	0.094	0.053	0.039	0.035	0.029
	csrs	inverno	0.067	0.016	0.016	0.015	0.012

Foi constatado que os maiores valores de RMSE foram registrados com o IBGE-PPP, com valores de 0.098 m e 0.094 m no intervalo de 15 minutos. Por outro lado, o menor valor foi alcançado com o CSRS-PPP, apresentando apenas 0.002 m no intervalo de 120 minutos. Contudo, nesta estação não foi notado nenhum valor decimétrico.

A seguir, o Gráfico 12 apresenta as informações mostradas pela Tabela 19 em forma de gráfico de barras.

Gráfico 12 - Gráfico de barras dos valores de RMSE obtidos na estação CUIB



No verão observa-se uma sensibilidade relativamente moderada ao aumento dos intervalos de rastreo no IBGE-PPP, apesar de apresentar melhorias. O CSRS-PPP, por outro lado, mostra uma sensibilidade mais pronunciada, indicando uma melhora já nos intervalos de rastreo iniciais

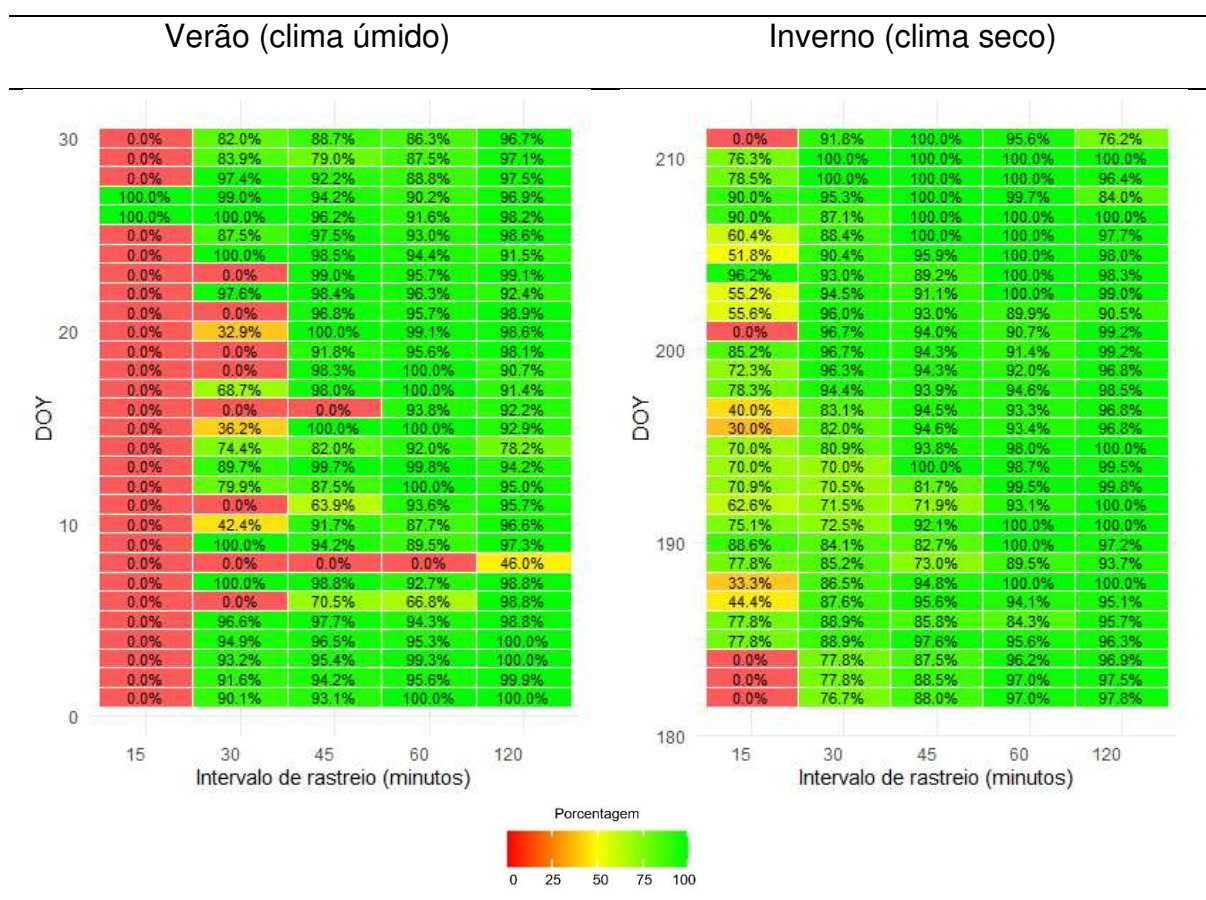
O padrão mantém-se no Inverno, com uma diminuição nos RMSEs à medida que o intervalo de rastreo é aumentado, contudo é notado uma estabilização nas componentes do CSRS-PPP a partir do intervalo de rastreo de 30 minutos. E para o IBGE-PPP é notado uma estabilização a partir de 45 minutos.

No Gráfico 12 é possível observar na componente “up” obtida no IBGE-PPP alguns valores de RMSE que se apresentam maiores no inverno em relação ao verão, o que ainda não tinha sido observado nas outras estações apresentadas.

6.4 ESTAÇÃO PITN

Na estação PITN, a porcentagem das soluções de ambiguidades alcançadas durante o processamento realizado pelo CSRS-PPP ao longo dos dias do ano adotados nesta pesquisa podem ser visualizadas no Gráfico 13.

Gráfico 13 - Porcentagem de Solução das Ambiguidades GPS no CSRS-PPP (Estação PITN)



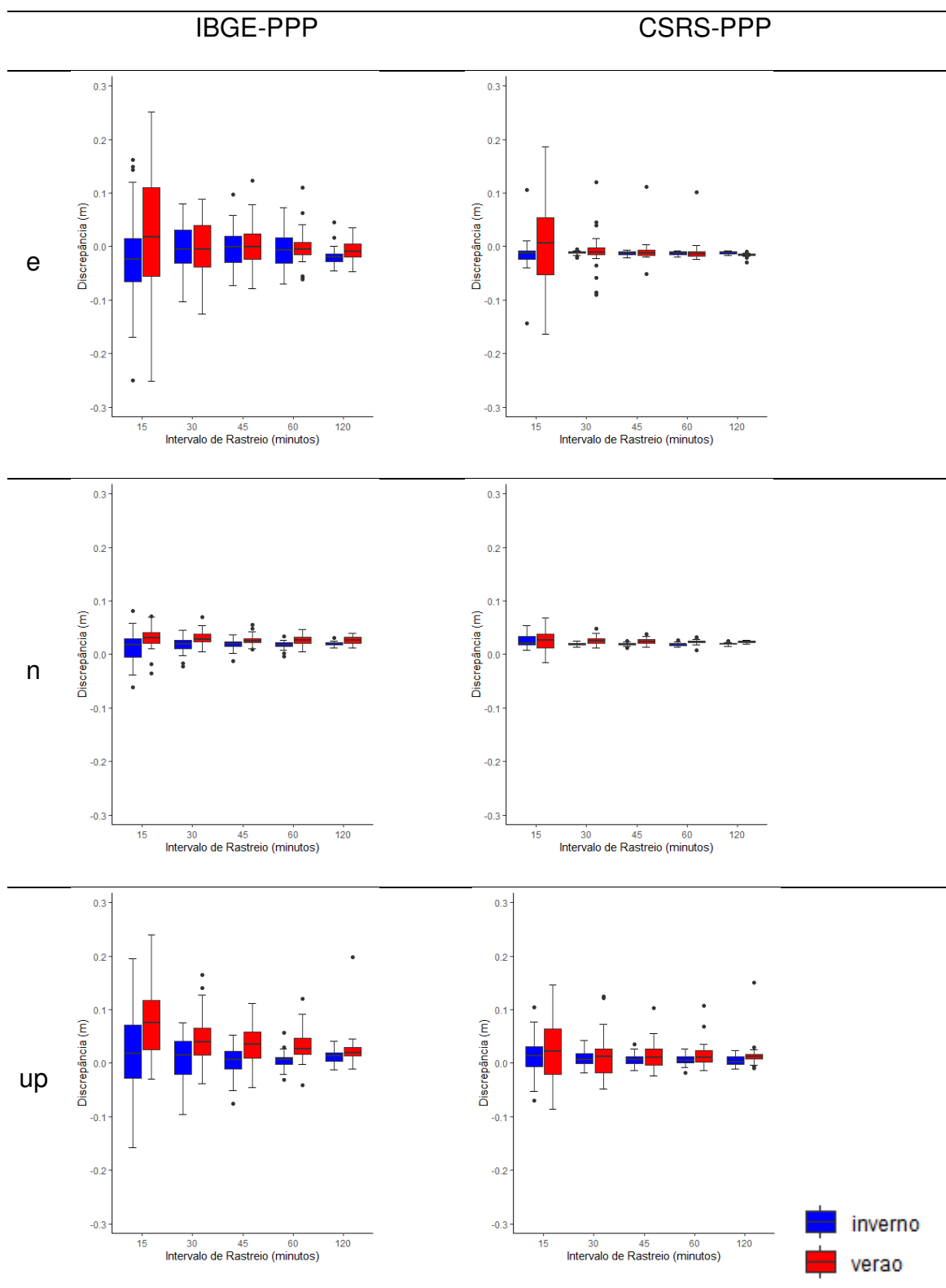
No Gráfico 13 é possível notar novamente a influência predominante do clima na solução das ambiguidades. Durante o verão, observou-se que, dentro do intervalo de rastreio de 15 minutos, apenas dois dias apresentaram soluções das ambiguidades. No intervalo de 30 minutos, oito dias não solucionaram as ambiguidades, contudo a maioria dos dias apresentou taxa de solução acima de 80%. Nota-se uma melhora significativa a partir de 45 minutos de intervalo de rastreamento. Porém, destaca-se que no dia 08/01, apenas no intervalo de rastreio de 120 minutos houve solução (taxa igual a 46%). Nos outros dias as taxas de solução foram nulas. Foram analisados os resultados referentes ao período de coleta de 120 minutos,

considerando os dias 06, 07, 09 e 10 de janeiro (resultados nestes dias apresentaram alta taxa de solução da ambiguidade). Não foi notada nenhuma diferença significativa entre os erros dos relógios do receptor e geometria dos satélites. Theodoro (2020) associou a degradação da solução da ambiguidade à altitude de uma estação utilizada em seu trabalho, ainda pontuou que a camada atmosférica era maior na região de menor altitude, o que pode ter influenciado a má solução da ambiguidade. No caso da estação PITN, apresentada nesse tópico, a altitude geométrica é 67,971m.

O comportamento da solução das ambiguidades durante o inverno foi consideravelmente superior ao verão (resultados similares das estações AMCR e BRAZ), principalmente nos intervalos de rastreamento menores (15 e 30 minutos). O clima seco resultou em porcentagens de soluções acima de 70% (em alguns casos 90%) para os intervalos de rastreio de 15 minutos, com algumas exceções, conforme ilustra o Gráfico 13. Para o intervalo de rastreio de 30 minutos houve solução da ambiguidade para todos os dias. Já nos intervalos de rastreamento mais longos, esta porcentagem chegou a ultrapassar 90% na maior parte dos dias.

O Gráfico 14 ilustra as discrepâncias posicionais através de *boxplots*, os quais foram compilados ao longo de 30 dias durante o verão e outros 30 dias durante o inverno, considerando os intervalos de rastreio adotados na pesquisa.

Gráfico 14 - Discrepâncias entre Verão e Inverno (Estação PITN)



Ao analisar o Gráfico 14, tornou-se evidente que a amplitude interquartil dos dados obtidos no inverno é menor do que a dos dados de verão, especialmente, para

as componentes "e" e "Up". Além disso, foi observado que, no intervalo de rastreamento de 15 minutos do CSRS-PPP, para a componente Leste, esta amplitude apresentou-se expressiva, o que coincide com a solução da ambiguidade apresentada, na qual o intervalo de 15 minutos já apresentava soluções da ambiguidade para o período seco.

Foi observado que a amplitude interquartil dos resultados obtidos com CSRS-PPP resultou em um valor menor em comparação com aqueles obtidos pelo IBGE-PPP, especialmente na componente "e" e na componente "Up". Além disso, nota-se que as discrepâncias na componente "up" no verão são mais tendenciosas no IBGE-PPP, o que não ocorreu no CSRS-PPP

Com intuito de corroborar com a análise, foi realizado o teste estatístico de Wilcoxon Mann-Whitney, que vai exibir se houve diferença significativa entre verão e inverno nos diferentes intervalos de rastreamento, mas no mesmo serviço de processamento. O resultado (*p-value*) dos testes de Wilcoxon Mann-Whitney foram compilados e apresentados na Tabela 20.

Tabela 20 - *p-value* do Teste de Wilcoxon Mann-Whitney das discrepâncias entre Verão e Inverno (Estação PITN)

		PITN									
		Intervalo de Rastreamento (minutos)									
		15		30		45		60		120	
		<i>p-value</i>	sign	<i>p-value</i>	sign	<i>p-value</i>	sign	<i>p-value</i>	sign	<i>p-value</i>	sign
e	ibge	1.38E-01	Não	9.82E-01	Não	8.20E-01	Não	6.86E-01	Não	7.65E-03	Sim
	csrs	1.73E-01	Não	3.43E-01	Não	6.23E-01	Não	5.92E-01	Não	1.11E-05	Sim
n	ibge	8.77E-03	Sim	1.29E-03	Sim	1.61E-03	Sim	9.53E-05	Sim	7.74E-04	Sim
	csrs	9.94E-01	Não	2.80E-05	Sim	1.09E-06	Sim	8.24E-08	Sim	1.09E-09	Sim
up	ibge	2.88E-03	Sim	1.99E-02	Sim	1.22E-03	Sim	8.00E-06	Sim	4.79E-02	Sim
	csrs	7.97E-01	Não	8.78E-01	Não	2.79E-01	Não	5.32E-02	Não	4.76E-03	Sim

Foi realizada uma análise para investigar as diferenças entre os resultados obtidos por meio dos processamentos com IBGE-PPP e CSRS-PPP, entre verão e inverno. Com um nível de significância de 5%, constatou-se variações estatísticas nos diferentes intervalos de rastreamento, com a maioria dos dados não apresentando diferenças significativas de acordo com o Teste de Wilcoxon Mann-Whitney. É importante ressaltar que a componente "e" apresentou diferença significativa apenas no intervalo de rastreamento de 120 minutos.

Na componente “n” apenas no CSRS-PPP no intervalo de 15 minutos não ocorreu diferenças significativas entre o verão e inverno.

Para a componente “up” foram detectadas diferenças significativas para todos os intervalos de rastreo com IBGE-PPP. Já no CSRS-PPP, apenas para o intervalo de 120 minutos foi detectado diferença estatística nesta componente.

A Tabela 21 apresenta o resultado do teste de Wilcoxon Mann-Whitney entre os serviços de processamento.

Tabela 21 p-value do Teste de Wilcoxon Mann-Whitney das discrepâncias entre IBGE-PPP e CSRS-PPP (Estação PITN)

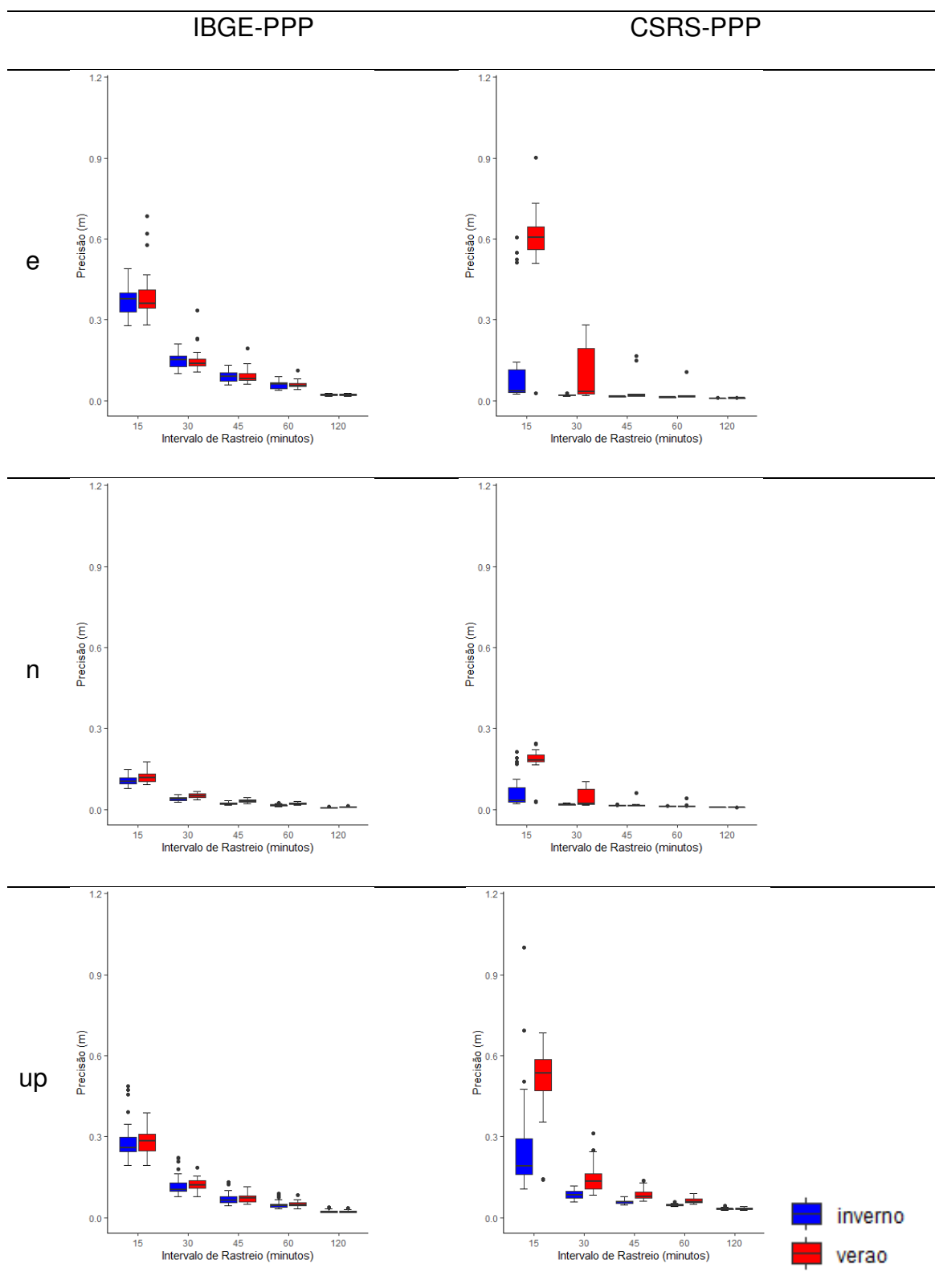
		PITN									
		Intervalo de Rastreo (minutos)									
		15		30		45		60		120	
		p-value	sign	p-value	sign	p-value	sign	p-value	sign	p-value	sign
e	verão	6.02E-01	Não	6.76E-01	Não	3.00E-01	Não	4.79E-02	Sim	2.74E-02	Sim
	inverno	3.43E-01	Não	1.92E-01	Não	4.30E-02	Sim	1.12E-01	Não	2.42E-04	Sim
n	verão	2.86E-01	Não	1.97E-01	Não	5.32E-01	Não	7.47E-02	Não	1.97E-01	Não
	inverno	1.12E-01	Não	9.71E-01	Não	7.41E-01	Não	9.71E-01	Não	6.44E-01	Não
up	verão	5.76E-04	Sim	2.25E-02	Sim	1.00E-02	Sim	2.47E-03	Sim	1.20E-02	Sim
	inverno	5.72E-01	Não	6.23E-01	Não	8.78E-01	Não	9.12E-01	Não	9.75E-04	Sim

Com um nível de significância de 5%, constatou-se, através da Tabela 21, que as diferenças significativas variaram nos diferentes intervalos de rastreamento entre os serviços de processamento IBGE-PPP e CSRS-PPP. Vale ressaltar que para as componentes "e" e "Up" no intervalo de rastreo de 120 minutos houve diferença significativa.

Cabe destacar que a componente “up” em todos intervalos de rastreo apresentou diferença significativa entre os serviços de processamento no verão. Na componente “n” em nenhum caso ocorreu diferença significativa entre os serviços de processamento no verão e inverno.

As precisões das coordenadas cartesianas geocêntricas obtidas nos dois serviços de processamento (IBGE-PPP e CSRS-PPP) foram propagadas para o SGL para realização das análises. O Gráfico 15 apresenta o *boxplot* de um conjunto de precisões de 30 dias de clima seco e 30 dias de clima úmido obtidas no IBGE-PPP e CSRS-PPP.

Gráfico 15 - Precisão entre Verão e Inverno (Estação PITN)



A análise dos *boxplots* presentes no Gráfico 15 evidencia a variação das precisões, especialmente nos intervalos de rastreo de 15 e 30 minutos, destacando-

se notavelmente nas componentes obtidas no CSRS-PPP. Nos demais intervalos, estas diferenças tornaram-se menos perceptíveis. Estes resultados estão em consonância com as porcentagens de soluções das ambiguidades no serviço de processamento do CSRS-PPP. Foi possível observar que no IBGE-PPP a precisão nas componentes variam minimamente entre os climas.

Pode-se ainda verificar que a precisão do IBGE-PPP no intervalo de 15 minutos durante o verão demonstrou-se melhor em comparação com o CSRS-PPP. No intervalo de 30 minutos, apesar do intervalo interquartil ser maior para o CSRS-PPP, as medianas indicaram precisões melhores para as componentes “e” e “up”. Nos demais intervalos de rastreamento e em ambos os climas, notou-se uma melhora na precisão do CSRS-PPP, contudo, no IBGE-PPP também foi notada essa melhora ao longo do intervalo de rastreamento.

Quando as ambiguidades são solucionadas como números inteiros os resultados do CSRS-PPP melhoram significativamente, proporcionando resultados mais precisos do que o IBGE-PPP na maior parte dos dados. Nota-se melhora significativa da precisão com o aumento do intervalo de rastreamento, porém, se estabiliza após 45 minutos, principalmente em relação ao CSRS-PPP nas componentes “e” e “n”, embora isso também ocorra na componente “n” no IBGE-PPP.

Esta observação sugere que as estimativas fornecidas pelo CSRS-PPP tendem a ser menos precisas do que aquelas fornecidas pelo IBGE-PPP nos intervalos iniciais em condições de clima úmido. No entanto, em condições de clima seco, os resultados obtidos pelo CSRS-PPP são mais precisos. Além disso, em intervalos de rastreamento mais extensos e no clima seco, as estimativas do CSRS-PPP revelaram-se mais precisas.

Para evidenciar se houve diferenças significativas entre os resultados das precisões obtidas com os serviços de processamento IBGE-PPP e CSRS-PPP em diferentes climas foi realizado o teste estatístico de Wilcoxon Mann-Whitney e a Tabela 22 apresenta os *p-values* deste teste.

Tabela 22 - p-value do Teste de Wilcoxon Mann-Whitney das precisões entre Verão e Inverno (Estação PITN)

		PITN									
		Intervalo de Rastreo (minutos)									
		15		30		45		60		120	
		p-value	sign	p-value	sign	p-value	sign	p-value	sign	p-value	sign
e	ibge	9.12E-01	Não	6.97E-01	Não	9.59E-01	Não	9.36E-01	Não	6.65E-01	Não
	csrs	2.75E-09	Sim	3.02E-11	Sim	3.00E-12	Sim	3.53E-14	Sim	4.37E-05	Sim
n	ibge	4.15E-02	Sim	2.60E-05	Sim	6.82E-07	Sim	3.43E-08	Sim	4.04E-09	Sim
	csrs	1.94E-08	Sim	2.11E-03	Sim	2.93E-01	Não	3.58E-01	Não	6.44E-01	Não
up	ibge	3.74E-01	Não	3.66E-01	Não	3.58E-01	Não	3.00E-01	Não	5.32E-01	Não
	csrs	6.20E-07	Sim	4.13E-10	Sim	4.38E-12	Sim	3.63E-12	Sim	4.58E-01	Não

Os resultados dos testes estatísticos apresentados na Tabela 22 ressaltaram diferenças significativas entre verão e inverno para ambas as precisões obtidas nos serviços de processamento. No serviço de processamento IBGE-PPP, identificaram-se diferenças significativas apenas na componente "n" para todos os intervalos de rastreo.

Já no CSRS-PPP, foram encontradas diferenças significativas em todas as componentes, contudo na componente "e" foi observado em todos os intervalos de rastreo, já na componente "n" foi observado para os intervalos iniciais de 15 e 30 minutos, e por fim, na componente "up" foram detectadas diferenças significativas entre verão e inverno em todos os intervalos de rastreo, exceto 120 minutos.

Uma análise similar será conduzida, onde a Tabela 23 exhibe os *p-values* do teste de Wilcoxon Mann-Whitney para as precisões obtidas entre o IBGE-PPP e CSRS-PPP. Nessa abordagem, pretende-se avaliar se as precisões obtidas com IBGE-PPP têm diferenças significativas para o mesmo conjunto de dados processados e obtidos com CSRS-PPP.

Tabela 23 - p-value do Teste de Wilcoxon Mann-Whitney das precisões entre IBGE-PPP e CSRS-PPP (Estação PITN)

		PITN									
		Intervalo de Rastreio (minutos)									
		15		30		45		60		120	
		p-value	sign	p-value	sign	p-value	sign	p-value	sign	p-value	sign
e	verão	6.64E-08	Sim	9.75E-04	Sim	7.96E-11	Sim	3.89E-13	Sim	1.69E-17	Sim
	inverno	3.18E-06	Sim	1.69E-17	Sim	1.69E-17	Sim	1.69E-17	Sim	1.69E-17	Sim
n	verão	2.67E-10	Sim	4.30E-02	Sim	1.09E-10	Sim	4.84E-13	Sim	3.54E-04	Sim
	inverno	4.06E-05	Sim	1.69E-17	Sim	8.59E-15	Sim	2.75E-09	Sim	4.79E-08	Sim
up	verão	3.57E-10	Sim	1.42E-01	Não	1.42E-02	Sim	8.68E-06	Sim	4.20E-11	Sim
	inverno	5.77E-03	Sim	6.20E-07	Sim	1.69E-02	Sim	3.50E-01	Não	1.86E-09	Sim

Ao adotar um nível de significância de 5%, foi constatado através da Tabela 23 que os *p-values* indicaram diferenças significativas entre os serviços de processamento nas componentes planimétricas (“e” e “n”) para todos intervalos de rastreio em ambos os climas.

Já a componente “up” apenas em dois casos não apontou diferença significativa, sendo eles no intervalo de rastreio de 30 minutos para o verão e no intervalo de rastreio de 60 minutos para o inverno.

Por fim, a Tabela 24 apresenta o RMSE das componentes e, n e up no SGL.

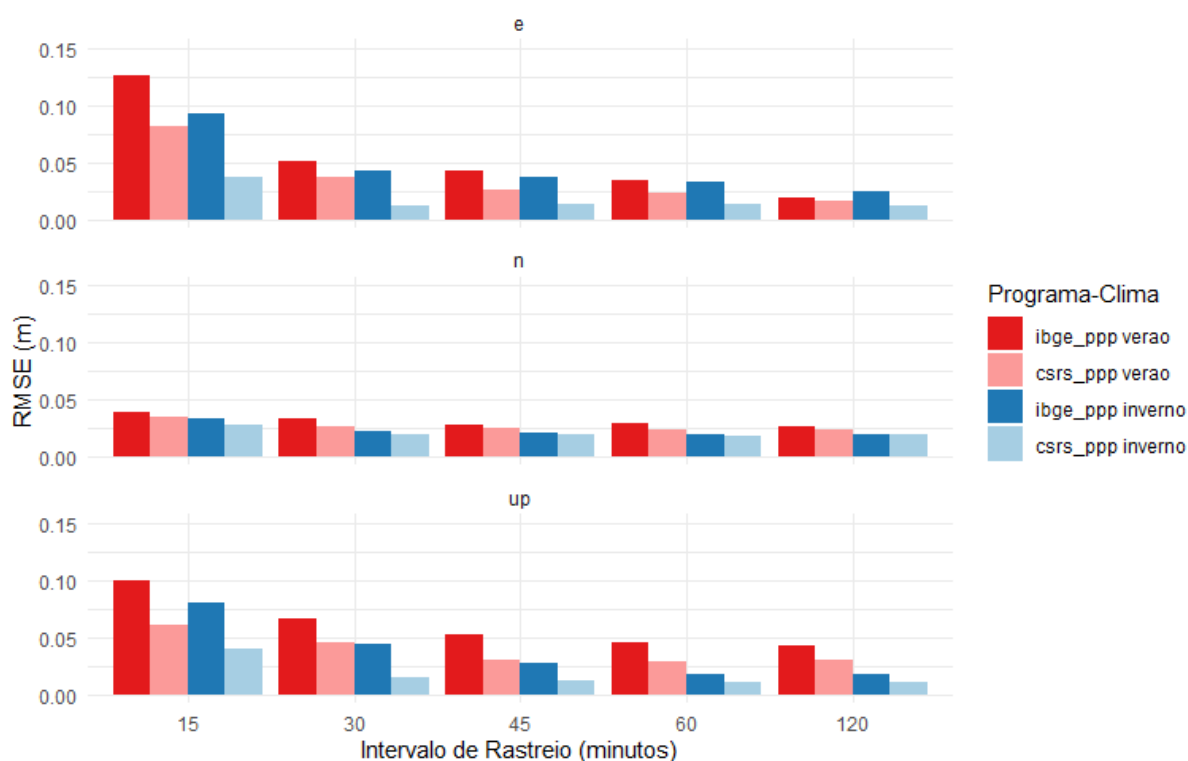
Tabela 24 - RMSE da estação PITN

		PITN				
		Intervalo de rastreio				
		15 minutos	30 minutos	45 minutos	60 minutos	120 minutos
		RMSE (m)	RMSE (m)	RMSE (m)	RMSE (m)	RMSE (m)
e	ibge verão	0.126	0.050	0.043	0.034	0.019
	csrs verão	0.082	0.037	0.026	0.023	0.016
	ibge inverno	0.093	0.042	0.036	0.033	0.025
	csrs inverno	0.038	0.013	0.013	0.013	0.012
n	ibge verão	0.039	0.033	0.028	0.029	0.027
	csrs verão	0.035	0.027	0.025	0.023	0.024
	ibge inverno	0.034	0.022	0.021	0.019	0.020
	csrs inverno	0.029	0.019	0.019	0.019	0.020
up	ibge verão	0.100	0.066	0.052	0.045	0.043
	csrs verão	0.061	0.045	0.030	0.029	0.031
	ibge inverno	0.080	0.045	0.027	0.018	0.018
	csrs inverno	0.040	0.015	0.013	0.011	0.010

Foi verificado através da Tabela 24 que os maiores valores de RMSE foram registrados com IBGE-PPP, com valores de 0.126m, 0.100m e 0.093m ambos no intervalo de 15 minutos de rastreo. Por outro lado, os menores valores foram alcançados no CSRS-PPP, apresentando 0.010m, 0.011m e 0.012m sendo observado nos intervalos de rastreo de 60 e 120 minutos. Notadamente, apenas dois valores obtido no IBGE-PPP alcançaram a escala decimétrica. Os demais valores ficaram abaixo de 0.100m. Contudo, ao contrário do que ocorreu nas estações AMCR, BRAZ e CUIB, em nenhum caso ocorreu RMSE na ordem do milímetro.

A seguir, o Gráfico 16 apresenta visualmente as informações mostradas na Tabela 24 em forma de gráfico de barras.

Gráfico 16 - Gráfico de barras dos valores de RMSE obtidos na estação PITN



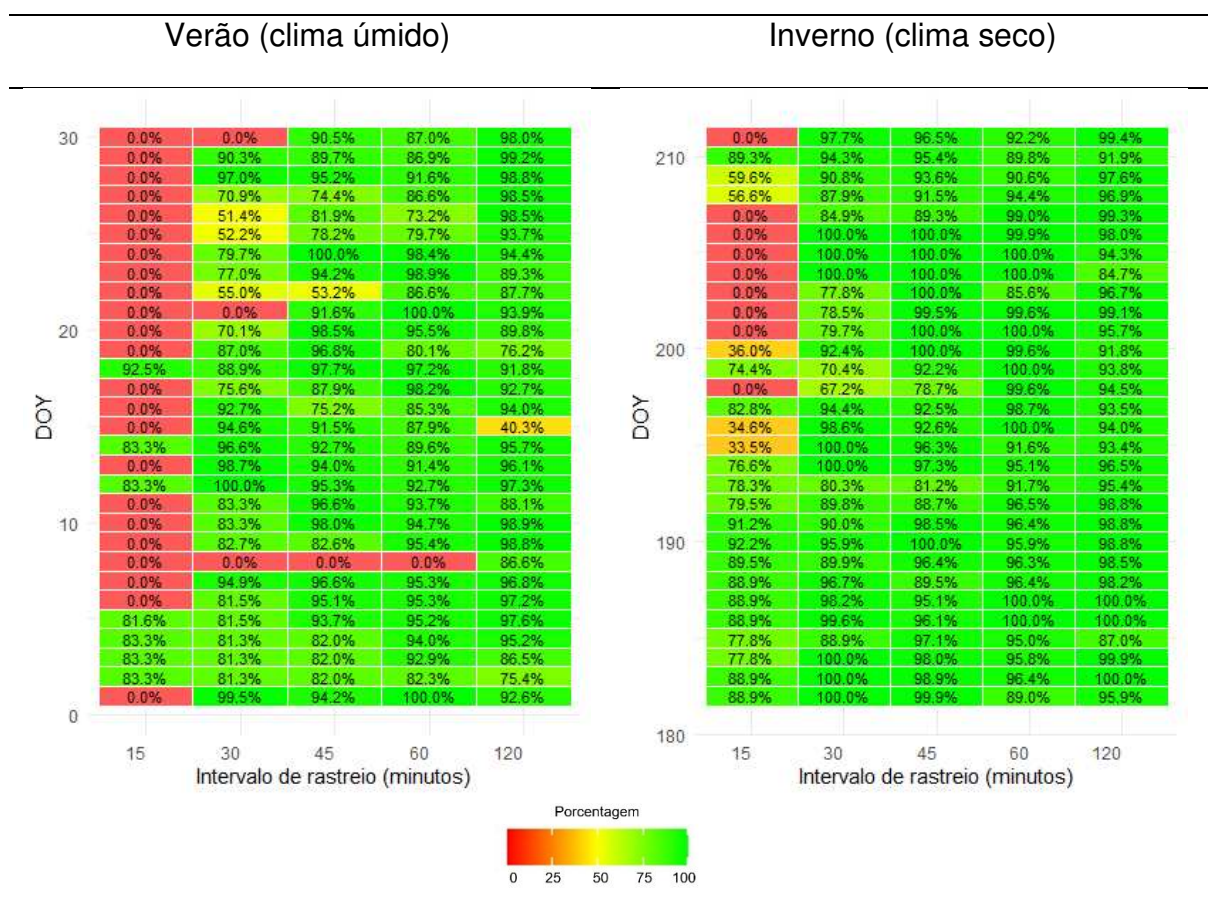
No Verão, ambos os serviços demonstram uma sensibilidade moderada à variação do intervalo de rastreo, com quedas nos RMSEs à medida que o intervalo de rastreo aumenta. O CSRS-PPP, no entanto, exibe valores menores já nos intervalos iniciais. O padrão persiste no Inverno, com ambos os serviços mostrando uma resposta positiva de melhora a intervalos de rastreo mais longos.

Nas componentes “e” e “up” fica evidente a superioridade do CSRS-PPP em relação ao IBGE-PPP, principalmente no clima seco. Foi ainda possível notar que a partir do intervalo de rastreo de 45 minutos houve uma estabilização nos valores de RMSE.

6.5 ESTAÇÃO RJNI

Na estação RJNI, a porcentagem das soluções de ambiguidades alcançadas durante o processamento realizado pelo CSRS-PPP ao longo dos dias do ano (DOY) adotados nesta pesquisa podem ser visualizadas no Gráfico 17.

Gráfico 17 - Porcentagem de Solução das Ambiguidades GPS no CSRS-PPP (Estação RJNI)



No Gráfico 17 é possível notar a influência predominante do clima na solução das ambiguidades. Durante o verão, considerando o intervalo de rastreo de 15 minutos, apenas sete dias apresentaram soluções das ambiguidades. Em contrapartida, no clima seco, o número de dias que apresentou solução das ambiguidades foi 3 vezes maior, ou seja, 21 dias.

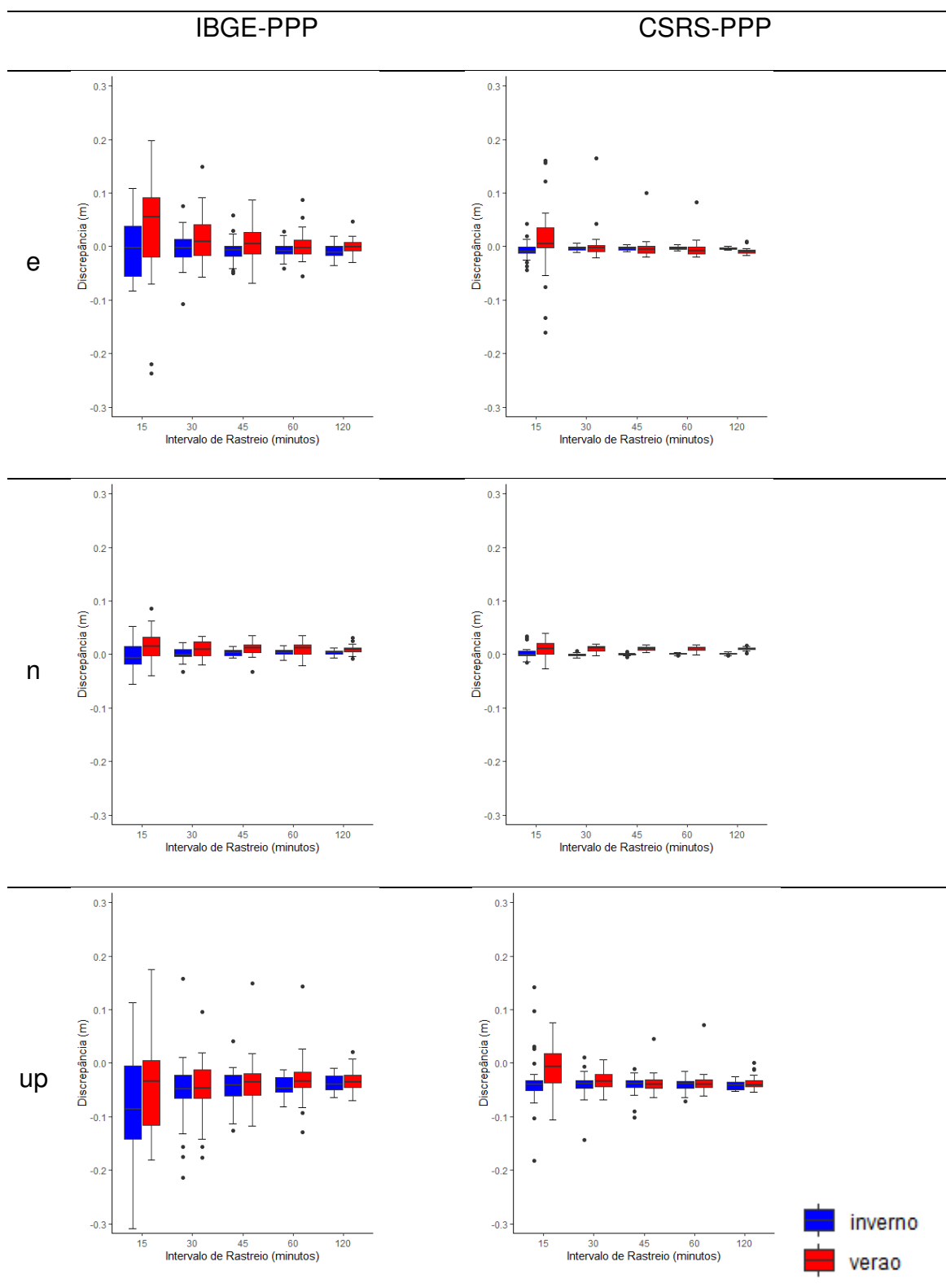
No intervalo de 30 minutos, outra configuração pode ser observada para o verão, com apenas três dias que não obtiveram solução das ambiguidades. Entretanto, durante o clima seco, todos os dias apresentaram solução das ambiguidades.

Nota-se uma melhora significativa a partir de 45 minutos de intervalo de rastreo. Porém, destaca-se que no dia 08/01, como ocorreu em outras estações, apenas no intervalo de rastreo de 120 minutos houve solução da ambiguidade (taxa igual a 86,8%). Foram analisados os resultados referentes ao período de coleta de 120 minutos, considerando os dias 06, 07, 09 e 10 de janeiro (resultados nestes dias apresentaram alta taxa de solução da ambiguidade). Não foi notada nenhuma diferença significativa entre os erros dos relógios do receptor e geometria dos satélites e valores maiores da estimativa da componente úmida. Foi ainda analisado dados de precipitação disponíveis na cidade de Niterói neste dia e não foi registrado precipitações no horário de coleta dos dados.

O comportamento da solução das ambiguidades durante o inverno foi notavelmente superior ao verão, principalmente nos intervalos de rastreo menores (15 e 30 minutos). O clima seco apresentou porcentagens de soluções acima de 70% para os intervalos de rastreamento de 15 e 30 minutos, com algumas exceções, conforme ilustra o Gráfico 17. Cabe salientar que nove dias no intervalo de rastreo de 15 minutos não apresentaram solução das ambiguidades. Já nos intervalos de rastreamento mais longos, a porcentagem de solução chegou a ultrapassar 90% (em vários dias alcançou 100%).

O Gráfico 18 ilustra as discrepâncias posicionais através de *boxplots*, os quais foram compilados ao longo de 30 dias durante o verão e outros 30 dias durante o inverno, considerando os intervalos de rastreo adotados nesta pesquisa.

Gráfico 18 - Discrepâncias entre Verão e Inverno (Estação RJNI)



Ao analisar o Gráfico 18, foi possível notar que a amplitude interquartil dos dados obtidos no inverno é inferior aos dados de verão para a componente “e” no IBGE-PPP.

No CSRS-PPP também foi possível observar essa afirmação no intervalo de rastreo de 15 minutos nesta componente “e”, o que coincide com os casos em que a solução das ambiguidades foi na maioria das vezes solucionadas com alta porcentagem. Este fato indica que em clima seco há uma tendência no aumento da taxa de solução das ambiguidades e conseqüentemente uma relação de melhoria, em termos de discrepância, nessa componente.

Foi observado que a amplitude interquartil dos resultados obtidos com CSRS-PPP foi menor, em comparação àqueles obtidos pelo IBGE-PPP. Este padrão foi constatado em todas as componentes, tanto nos dados de inverno, quanto nos dados de verão. Entretanto, para a componente “n”, essa amplitude de melhora de um serviço em relação a outro é modesta.

Com intuito de corroborar com a análise, foi realizado o teste estatístico de Wilcoxon Mann-Whitney, que vai exibir se houve diferenças significativas entre verão e inverno nos diferentes intervalos de rastreo, mas no mesmo serviço de processamento. O resultado (*p-value*) dos testes de Wilcoxon Mann-Whitney foram compilados e apresentados na Tabela 25.

Tabela 25 - p-value do Teste de Wilcoxon Mann-Whitney das discrepâncias entre Verão e Inverno (Estação RJNI)

		RJNI									
		Intervalo de Rastreo (minutos)									
		15		30		45		60		120	
		p-value	sign	p-value	sign	p-value	sign	p-value	sign	p-value	sign
e	ibge	1.83E-02	Sim	1.42E-01	Não	3.71E-02	Sim	1.06E-01	Não	9.60E-03	Sim
	csrs	5.50E-03	Sim	5.42E-01	Não	2.73E-01	Não	2.96E-02	Sim	6.64E-08	Sim
n	ibge	1.76E-02	Sim	4.15E-02	Sim	1.89E-03	Sim	3.72E-03	Sim	2.13E-04	Sim
	csrs	6.11E-02	Não	9.12E-13	Sim	2.03E-16	Sim	9.75E-14	Sim	3.30E-15	Sim
up	ibge	1.64E-01	Não	5.92E-01	Não	3.74E-01	Não	5.14E-02	Não	5.62E-01	Não
	csrs	1.99E-02	Sim	2.13E-01	Não	9.71E-01	Não	6.23E-01	Não	2.24E-01	Não

Foi realizada a análise para investigar as diferenças entre os resultados obtidos por meio dos processamentos com IBGE-PPP e CSRS-PPP entre verão e inverno. Com um nível de significância de 5%, verificou-se que as diferenças significativas variaram nos diferentes intervalos de rastreamento. Notavelmente, a componente "Up" apresentou apenas uma diferença significativa de acordo com o Teste de Wilcoxon Mann-Whitney, sendo essa observada no CSRS-PPP no intervalo de rastreo de 15 minutos.

Já na componente “n” foi observado diferença significativa em ambos serviços de processamento em todos intervalos de rastreo, exceto no CSRS-PPP (15 minutos).

A Tabela 26 apresenta o resultado do teste de Wilcoxon Mann-Whitney entre os serviços de processamento.

Tabela 26 - p-value do Teste de Wilcoxon Mann-Whitney das discrepâncias entre IBGE-PPP e CSRS-PPP (Estação RJNI)

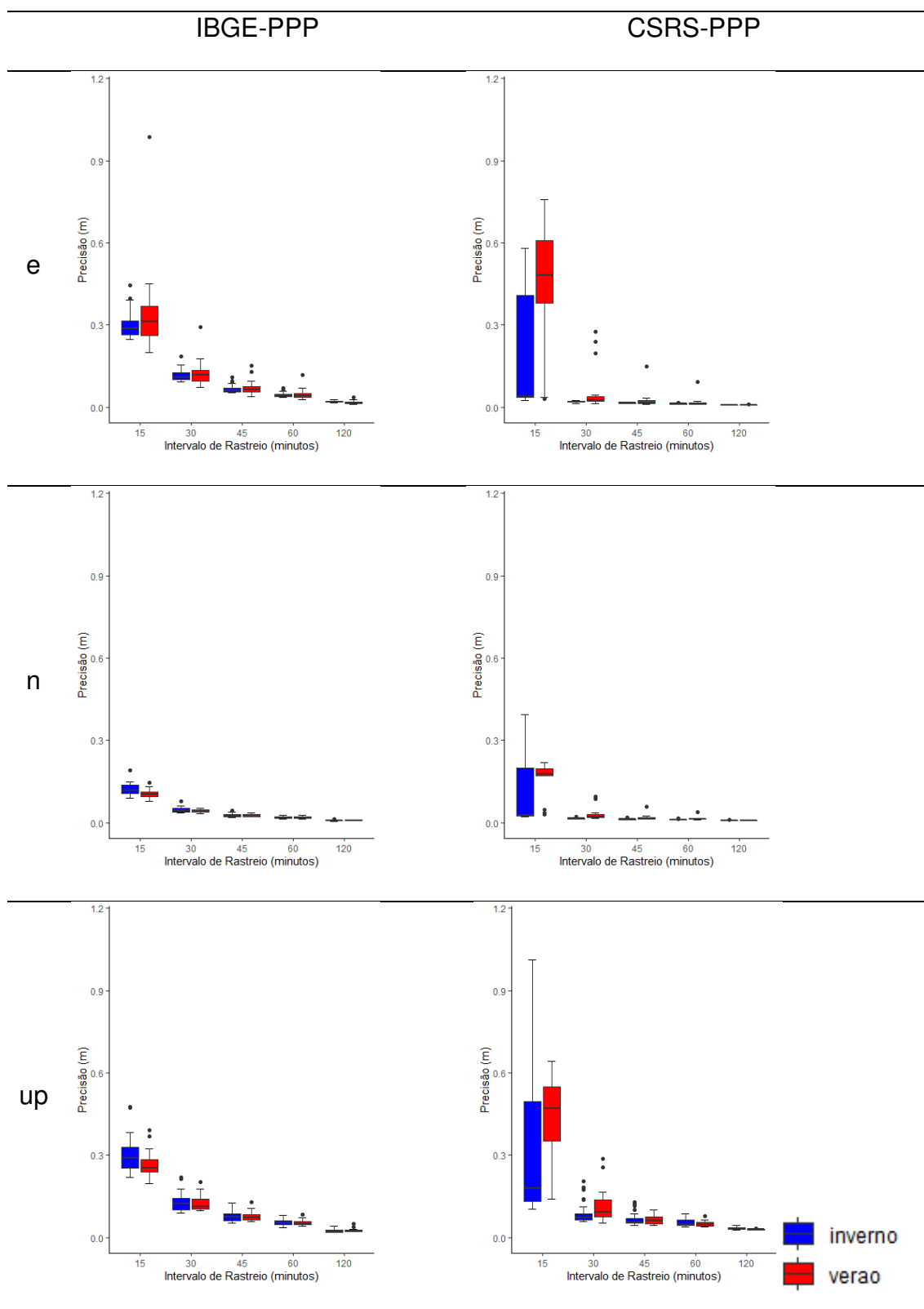
		RJNI									
		Intervalo de Rastreo (minutos)									
		15		30		45		60		120	
		p-value	sign	p-value	sign	p-value	sign	p-value	sign	p-value	sign
e	verão	7.47E-02	Não	2.73E-01	Não	3.58E-02	Sim	1.30E-01	Não	3.54E-04	Sim
	inverno	4.95E-01	Não	7.41E-01	Não	2.93E-01	Não	4.96E-02	Sim	3.45E-02	Sim
n	verão	3.21E-01	Não	5.52E-01	Não	8.78E-01	Não	8.09E-01	Não	3.35E-01	Não
	inverno	2.30E-01	Não	7.08E-01	Não	3.85E-02	Sim	8.38E-03	Sim	1.89E-03	Sim
up	verão	7.23E-02	Não	2.60E-01	Não	6.97E-01	Não	3.90E-01	Não	5.52E-01	Não
	inverno	4.79E-02	Sim	2.79E-01	Não	6.02E-01	Não	2.86E-01	Não	4.76E-01	Não

Com um nível de significância de 5%, constatou-se através da Tabela 26 que no intervalo de 15 minutos ocorreu apenas uma diferença significativa entre os serviços de processamento na componente “up” no inverno. Já no intervalo de rastreo de 30 minutos não foi detectado nenhuma diferença significativa.

Já na componente “e” foi apontado diferenças significativas entre os serviços de processamento nos intervalos de rastreo de 60 e 120 minutos no inverno e nos intervalos de rastreo de 45 e 120 minutos no verão.

As precisões das coordenadas cartesianas geocêntricas obtidas nos dois serviços de processamento foram propagadas para o SGL para realização das análises. O Gráfico 19 apresenta o *boxplot* de um conjunto de precisões de 30 dias de clima seco e 30 dias de clima úmido obtidas no IBGE-PPP e CSRS-PPP.

Gráfico 19 - Precisão entre Verão e Inverno (Estação RJNI)



A análise dos *boxplots* presentes no Gráfico 19 evidencia a amplitude da variação das precisões, especialmente no intervalo de rastreo de 15 minutos,

destacando-se notavelmente em todas as componentes no CSRS-PPP. Nos demais intervalos, estas amplitudes de variação tornaram-se menos perceptíveis. Estes resultados estão em consonância com as porcentagens de soluções das ambiguidades no serviço de processamento do CSRS-PPP. Vale ressaltar, que na componente “e”, no intervalo de rastreamento de 15 minutos é notada precisão melhor no inverno em relação ao verão, contudo, nas componentes “n” e “up” que apresentaram uma amplitude interquartil de precisão alta, pode-se notar valores próximos para ambos os climas, com uma leve vantagem no inverno para a componente “up”.

Pode-se verificar que as precisões obtidas no CSRS-PPP no intervalo de rastreamento de 15 minutos durante o verão demonstraram-se piores em comparação com IBGE-PPP. No mesmo intervalo de rastreamento, entretanto, durante o inverno, as medianas mostraram-se melhores, embora o intervalo interquartil seja consideravelmente maior.

Quando as ambiguidades são solucionadas como números inteiros os resultados do CSRS-PPP melhoram significativamente, proporcionando resultados mais precisos do que o IBGE-PPP. Nota-se melhora significativa da precisão com o intervalo de rastreamento, porém, se estabiliza após 30 minutos, principalmente em relação ao CSRS-PPP nas componentes planimétricas.

Esta observação sugere que as estimativas fornecidas pelo CSRS-PPP tendem a ser menos precisas do que aquelas fornecidas pelo IBGE-PPP no intervalo inicial em condições de clima úmido, fato que foi observado também nas estações AMCR, BRAZ, CUIB e PITN. No entanto, em intervalos de rastreamento mais extensos e no clima seco, as estimativas do CSRS-PPP revelaram-se mais precisas, com algumas ressalvas nas componentes “n” e “up”, que os valores de precisão entre os serviços de processamento ficam muito próximos um do outro.

Para evidenciar se houve diferenças significativas entre os resultados das precisões obtidas com os serviços de processamento IBGE-PPP e CSRS-PPP em diferentes climas foi realizado o teste estatístico de Wilcoxon Mann-Whitney e a Tabela 27 apresenta os *p-values* deste teste.

Tabela 27 - p-value do Teste de Wilcoxon Mann-Whitney das precisões entre Verão e Inverno (Estação RJNI)

		RJNI									
		Intervalo de Rastreo (minutos)									
		15		30		45		60		120	
		p-value	sign	p-value	sign	p-value	sign	p-value	sign	p-value	sign
e	ibge	1.92E-01	Não	6.33E-01	Não	9.12E-01	Não	5.62E-01	Não	4.37E-05	Sim
	csrs	1.09E-06	Sim	1.43E-04	Sim	2.25E-02	Sim	7.97E-02	Não	1.92E-05	Sim
n	ibge	1.37E-03	Sim	1.59E-01	Não	7.30E-01	Não	1.68E-01	Não	9.95E-02	Não
	csrs	2.43E-02	Sim	2.48E-12	Sim	4.94E-11	Sim	5.48E-10	Sim	1.46E-01	Não
up	ibge	1.20E-02	Sim	6.76E-01	Não	7.97E-01	Não	6.02E-01	Não	9.71E-01	Não
	csrs	5.24E-03	Sim	1.91E-02	Sim	8.32E-01	Não	9.95E-02	Não	9.92E-07	Sim

Os resultados dos testes estatísticos apresentados na Tabela 27 mostraram diferenças significativas entre os períodos de verão e inverno para algumas precisões nos intervalos de rastreo. No intervalo de 15 minutos, diferenças significativas foram observadas em todas as componentes para ambos os serviços de processamento, exceto no IBGE-PPP na componente “e”.

Nos intervalos de rastreo de 30 e 45 minutos, diferenças significativas foram observadas apenas no CSRS-PPP em todas as componentes, exceto na componente “up” em 45 minutos. No intervalo de 60 minutos, apenas a componente “n” no CSRS-PPP apresentou diferença significativa entre os climas seco e úmido. No intervalo de 120 minutos, diferenças significativas foram observadas para a componente “e” em ambos os serviços de processamento e na componente “up” no CSRS-PPP.

Uma análise similar será conduzida, onde a Tabela 28 exibe os *p-values* do teste de Wilcoxon Mann-Whitney para as precisões obtidas entre o IBGE-PPP e CSRS-PPP. Nessa abordagem, pretende-se avaliar se as precisões obtidas com IBGE-PPP têm diferenças significativas para o mesmo conjunto de dados processados e obtidos com CSRS-PPP.

Tabela 28 - p-value do Teste de Wilcoxon Mann-Whitney das precisões entre IBGE-PPP e CSRS-PPP (Estação RJNI)

		RJNI									
		Intervalo de Rastreio (minutos)									
		15		30		45		60		120	
		p-value	sign	p-value	sign	p-value	sign	p-value	sign	p-value	sign
e	verão	2.47E-03	Sim	4.58E-09	Sim	3.89E-13	Sim	3.89E-13	Sim	3.38E-17	Sim
	inverno	5.24E-03	Sim	1.69E-17	Sim	1.69E-17	Sim	1.69E-17	Sim	1.69E-17	Sim
n	verão	2.75E-04	Sim	1.94E-08	Sim	6.80E-11	Sim	1.27E-10	Sim	8.20E-01	Não
	inverno	1.68E-01	Não	1.69E-17	Sim	1.69E-17	Sim	1.13E-15	Sim	5.04E-01	Não
up	verão	3.26E-05	Sim	1.31E-02	Sim	7.30E-03	Sim	6.32E-02	Não	6.64E-09	Sim
	inverno	2.30E-01	Não	8.23E-07	Sim	2.47E-03	Sim	6.97E-01	Não	1.54E-08	Sim

Ao adotar um nível de significância de 5%, foi constatado através da Tabela 28 que os *p-values* indicaram diferenças estatisticamente significativas entre os serviços de processamento IBGE-PPP e CSRS-PPP na componente “e” em ambos os climas.

Para a componente “n” no verão apenas no intervalo de rastreio de 120 minutos não foi observada diferença significativa. No inverno, os intervalos de rastreio de 15 e 120 minutos também não apresentaram diferença estatística.

Para a componente “up” no verão apenas no intervalo de rastreio de 60 minutos não foi observada diferença significativa. No inverno os intervalos de rastreio de 15 e 60 minutos também não apresentaram diferença estatística.

Por fim, a Tabela 29 apresenta o RMSE das componentes e, n e up no SGL.

Tabela 29 - RMSE da estação RJNI

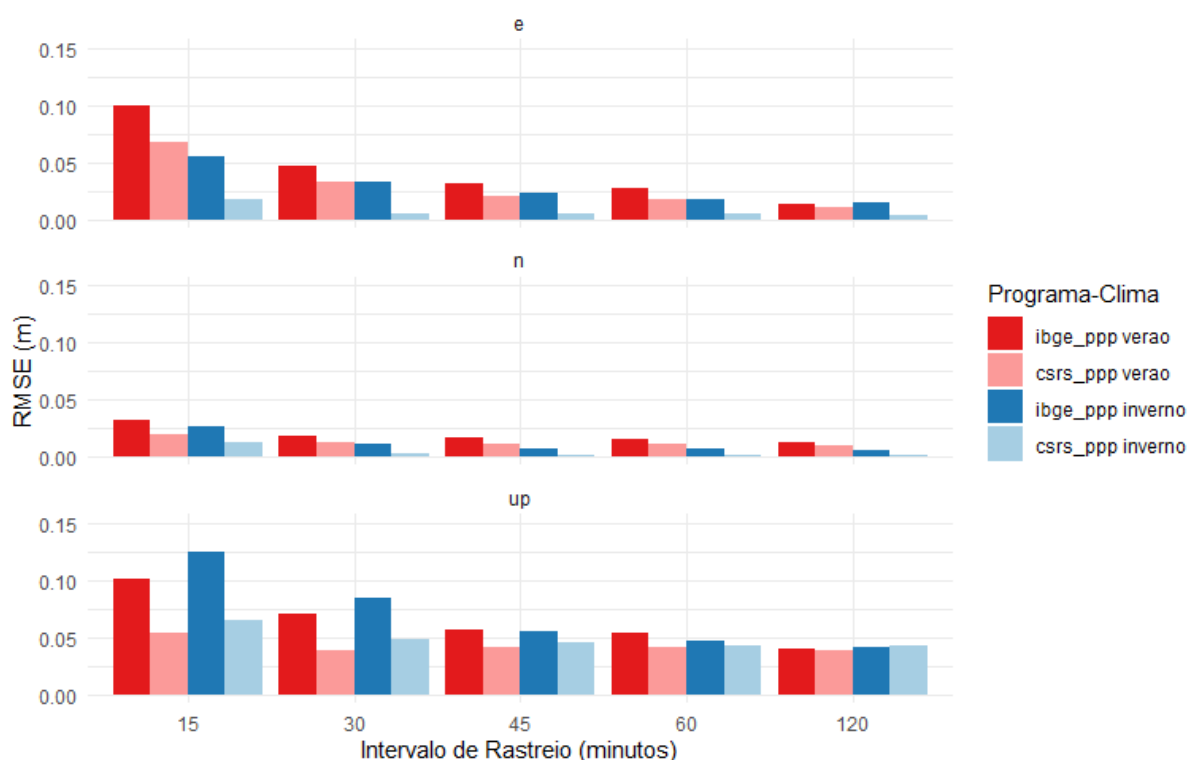
		RJNI				
		Intervalo de rastreio				
		15 minutos	30 minutos	45 minutos	60 minutos	120 minutos
		RMSE (m)	RMSE (m)	RMSE (m)	RMSE (m)	RMSE (m)
e	ibge verão	0.100	0.046	0.032	0.027	0.014
	csrs verão	0.068	0.032	0.021	0.018	0.011
	ibge inverno	0.055	0.032	0.024	0.017	0.014
	csrs inverno	0.018	0.006	0.005	0.005	0.004
n	ibge verão	0.032	0.018	0.017	0.016	0.013
	csrs verão	0.019	0.012	0.012	0.012	0.011
	ibge inverno	0.027	0.012	0.007	0.007	0.005
	csrs inverno	0.013	0.003	0.002	0.002	0.002
up	ibge verão	0.102	0.070	0.057	0.054	0.040
	csrs verão	0.053	0.038	0.041	0.042	0.039
	ibge inverno	0.125	0.084	0.055	0.047	0.041
	csrs inverno	0.065	0.049	0.045	0.043	0.042

Foi verificado através da Tabela 29 que os maiores valores de RMSE foram registrados com IBGE-PPP, com valores de 0.125m, 0.102m e 0.100m ambos no intervalo de 15 minutos de rastreo. Por outro lado, os menores valores foram alcançados no CSRS-PPP na componente “n”, apresentando 0.002m observado nos intervalos de rastreo de 45, 60 e 120 minutos. Notadamente, apenas valores obtidos no IBGE-PPP alcançaram a escala decimétrica.

Em alguns casos também ocorreram RMSE de ordem milimétricas em ambos os serviços de processamento, na componente “n” no clima seco. Nas componentes planimétricas (“e” e “n”), os valores de RMSE no clima seco são sempre menores do que no verão, exceto na componente “e” no intervalo de 120 minutos no IBGE-PPP.

A seguir, o Gráfico 20 representa visualmente as informações contidas na Tabela 29 por meio de um gráfico de barras, proporcionando uma compreensão mais clara dos valores apresentados.

Gráfico 20 - Gráfico de barras dos valores de RMSE obtidos na estação RJNI



No Verão, ambos os serviços demonstram uma sensibilidade baixa de melhora à variação do intervalo de rastreo, com quedas pequenas nos RMSEs à medida que o intervalo de rastreo aumenta, exceto entre os intervalos iniciais que apresentou uma

queda mais acentuada no IBGE-PPP. Contudo, é nítido que o CSRS-PPP apresentou os menores valores de RMSE neste clima, principalmente nos intervalos iniciais.

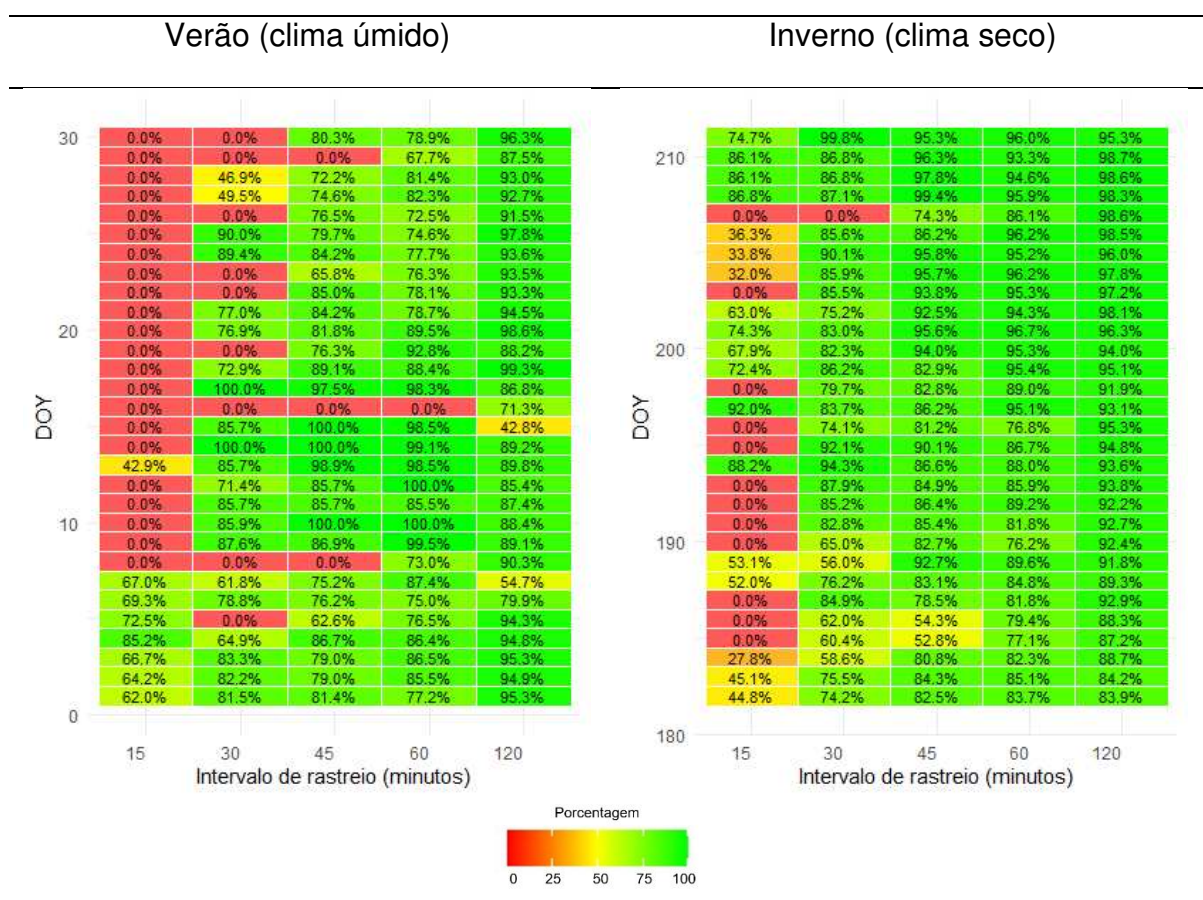
É importante notar que na componente “up” o clima seco apresentou maiores valores de RMSE em relação ao clima úmido em ambos os serviços de processamento.

Cabe destacar uma estabilização nos valores do RMSE ao longo dos intervalos de rastreo a partir de 45 minutos.

6.6 ESTAÇÃO SMAR

Na estação SMAR, a porcentagem das soluções de ambiguidades alcançadas durante o processamento realizado pelo CSRS-PPP ao longo dos dias do ano adotados nesta pesquisa podem ser visualizadas no Gráfico 21.

Gráfico 21 - Porcentagem de Solução das Ambiguidades GPS no CSRS-PPP (Estação SMAR)



No Gráfico 21 é possível notar a influência predominante do clima na solução das ambiguidades. Durante o verão, observou-se que, dentro do intervalo de rastreo de 15 minutos, apenas oito dias apresentaram soluções das ambiguidades. No intervalo de rastreo de 30 minutos, houve um aumento na quantidade de dias que obtiveram solução das ambiguidades, atingindo 21 dias que apresentaram essa solução. No intervalo de 45 minutos, apenas 3 dias não solucionaram as ambiguidades. Nos demais intervalos, apenas um dia não apresentou solução, sendo que as porcentagens atingidas alcançaram taxas acima de 80%, com algumas

exceções, como pode ser observado no gráfico, ilustrando também o efeito positivo do intervalo de rastreamento.

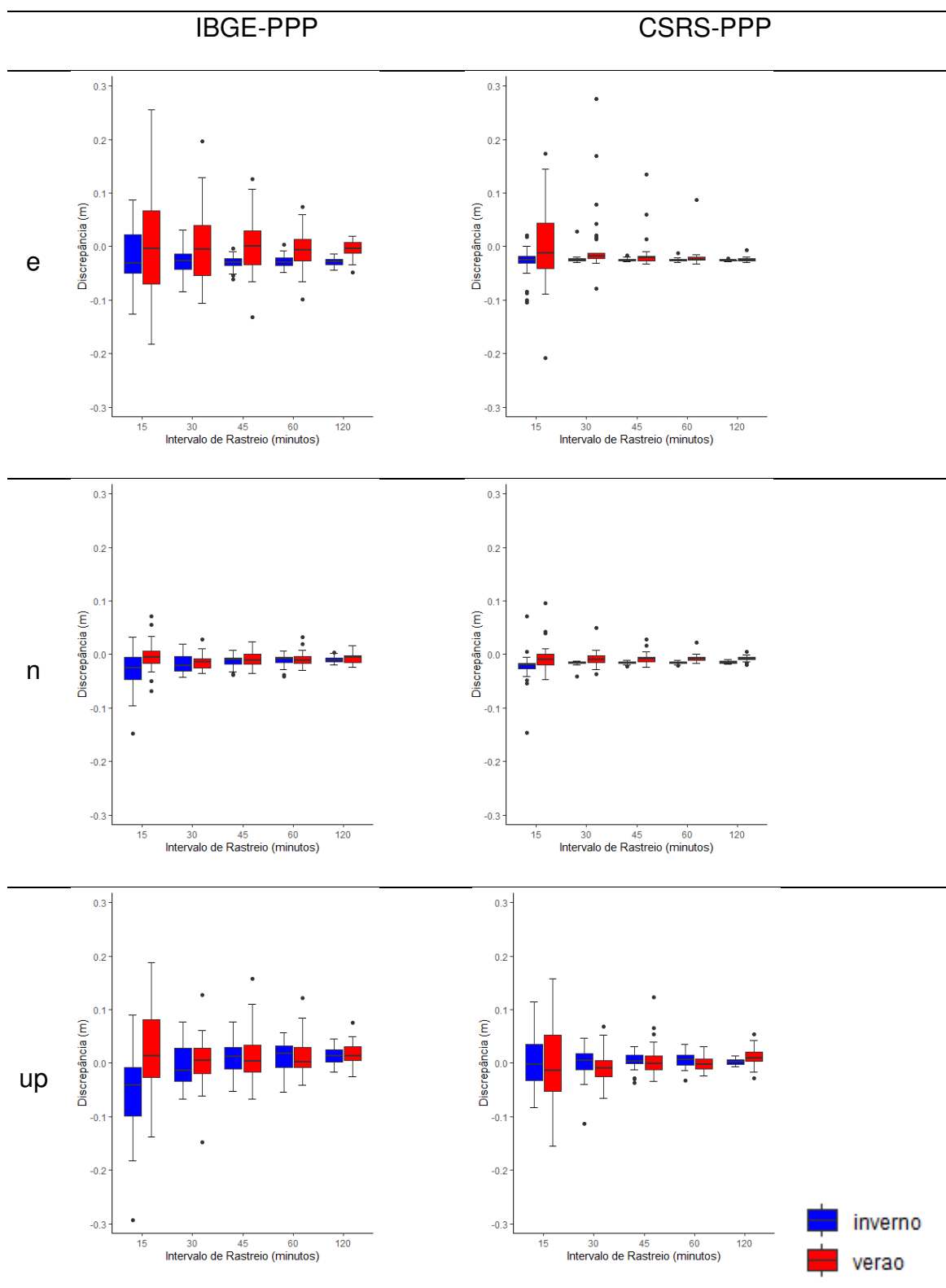
Destaca-se alguns dias durante o verão nos intervalos de rastreamento 45 e 60 minutos que não solucionaram as ambiguidades, dentre estes dias, está 08/01, que ocorreu este mesmo fato em outras estações adotadas nesta pesquisa que também não solucionaram as ambiguidades. Foram analisados os resultados referentes aos períodos de coletas de 120 minutos, considerando os dias 07, 09, 15, 17, 28 e 30 de janeiro, além dos resultados referentes aos intervalos de rastreamento que não solucionaram as ambiguidades nos dias 08, 16 e 29 de janeiro. Apenas no dia 16 de janeiro foi observado valores da estimativa da componente úmida com valores superiores aos dias adjacentes. Nos dias 08 e 29 de janeiro, não foram notadas diferenças significativas entre as estimativas das componentes úmidas. Corroborando com essa análise, foi observado dados de precipitação ocorridas na cidade de Santa Maria, onde pôde-se observar uma ocorrência de chuva no dia 16 de janeiro em horário próximo ao utilizado na coleta de dados, este fato pode ter ocasionado influência sobre a não solução das ambiguidades no intervalo de rastreamento de até 60 minutos.

O comportamento da solução das ambiguidades durante o inverno foi notavelmente superior ao verão, principalmente nos intervalos de rastreamento menores (15 e 30 minutos). O clima seco resultou em porcentagens de soluções acima de 70% para os intervalos de rastreamento de 15 e 30 minutos, com algumas exceções, conforme ilustra o Gráfico 21. Já nos intervalos de rastreamento mais longos, esta porcentagem chegou a ultrapassar 90%. Cabe salientar que doze dias no intervalo de rastreamento de 15 minutos não apresentaram solução das ambiguidades no inverno.

A pesquisa de Theodoro (2020) contemplou a estação SMAR e em seus resultados foi detectado valores da estimativa da componente úmida maior no inverno em relação ao verão. Fato que não foi observado nesta pesquisa.

O Gráfico 22 ilustra as discrepâncias posicionais através de *boxplots*, os quais foram compilados ao longo de 30 dias durante o verão e outros 30 dias durante o inverno, considerando os intervalos de rastreamento adotados na pesquisa.

Gráfico 22 - Discrepâncias entre Verão e Inverno (Estação SMAR)



Ao analisar o Gráfico 22, foi possível notar que a amplitude interquartil dos dados de inverno é menor do que a dos dados de verão na componente “e” no IBGE-

PPP. No CSRS-PPP apenas é possível notar esta afirmação para o intervalo inicial de 15 minutos de rastreo. Nas demais componentes e nos intervalos de rastreo mais longos não foi possível detectar diferenças nas amplitudes interquartis.

Foi possível observar que a amplitude interquartil dos resultados obtidos com CSRS-PPP foi menor em comparação com aqueles obtidos pelo IBGE-PPP para componente “e”. Nas demais componentes, visualmente, não foi possível detectar este padrão.

Com intuito de corroborar com a análise, foi realizado o teste estatístico de Wilcoxon Mann-Whitney, que vai exibir se houve diferença significativa entre as discrepâncias no verão e inverno nos diferentes intervalos de rastreo, mas no mesmo serviço de processamento. O resultado (*p-value*) dos testes de Wilcoxon Mann-Whitney foram compilados e apresentados na Tabela 30.

Tabela 30 - *p-value* do Teste de Wilcoxon Mann-Whitney das discrepâncias entre Verão e Inverno (Estação SMAR)

SMAR											
Intervalo de Rastreo (minutos)											
		15		30		45		60		120	
		<i>p-value</i>	sign	<i>p-value</i>	sign	<i>p-value</i>	sign	<i>p-value</i>	sign	<i>p-value</i>	sign
e	ibge	3.58E-01	Não	6.99E-02	Não	1.10E-02	Sim	6.88E-04	Sim	4.13E-10	Sim
	csrs	1.91E-02	Sim	7.74E-05	Sim	4.96E-02	Sim	1.62E-02	Sim	1.97E-01	Não
n	ibge	7.30E-03	Sim	4.85E-01	Não	6.97E-01	Não	9.94E-01	Não	2.42E-01	Não
	csrs	4.76E-03	Sim	3.76E-04	Sim	2.24E-06	Sim	9.54E-10	Sim	1.94E-08	Sim
up	ibge	8.20E-04	Sim	1.97E-01	Não	9.01E-01	Não	8.32E-01	Não	5.62E-01	Não
	csrs	4.85E-01	Não	1.03E-01	Não	3.43E-01	Não	1.77E-01	Não	1.36E-02	Sim

Os resultados dos testes estatísticos apresentados na Tabela 30 ressaltaram que as diferenças significativas variam nos diferentes intervalos de rastreo entre verão e inverno para ambas as discrepâncias obtidas nos serviços de processamento.

Cabe destacar que a componente “e” apresentou diferenças estatística para as discrepâncias obtidas no serviço de processamento CSRS-PPP para todos os intervalos de rastreo, exceto 120 minutos. No IBGE-PPP, para esta componente, os intervalos de rastreo de 45, 60 e 120 minutos apresentaram diferenças significativas entre o verão e inverno.

Para a componente “n”, o CSRS-PPP apontou diferença estatística em todos intervalos e rastreo. Já o IBGE-PPP somente no intervalo inicial (15 minutos) foram observadas diferenças significativas entre os climas verão e inverno.

Foi observado ainda que para a componente “up” somente houve diferenças significativas para as discrepâncias obtidas no intervalo de rastreo de 15 minutos processados com IBGE-PPP e no intervalo de rastreo de 120 minutos, processados com CSRS-PPP.

Uma análise similar será conduzida, onde a Tabela 31 exibe os *p-values* do teste de Wilcoxon Mann-Whitney para as discrepâncias obtidas entre o IBGE-PPP e CSRS-PPP. Nessa abordagem, pretende-se avaliar se as discrepâncias obtidas com IBGE-PPP têm diferenças significativas para o mesmo conjunto de dados processados com CSRS-PPP.

Tabela 31 - p-value do Teste de Wilcoxon Mann-Whitney das discrepâncias entre IBGE-PPP e CSRS-PPP (Estação SMAR)

		SMAR									
		Intervalo de Rastreo (minutos)									
		15		30		45		60		120	
		p-value	sign	p-value	sign	p-value	sign	p-value	sign	p-value	sign
e	verão	6.02E-01	Não	7.52E-01	Não	2.86E-01	Não	9.60E-03	Sim	8.47E-09	Sim
	inverno	7.08E-01	Não	2.42E-01	Não	3.58E-02	Sim	1.06E-01	Não	6.76E-02	Não
n	verão	4.06E-01	Não	1.30E-01	Não	5.52E-01	Não	3.74E-01	Não	4.23E-01	Não
	inverno	3.98E-01	Não	6.65E-01	Não	6.65E-03	Sim	1.22E-03	Sim	3.26E-05	Sim
up	verão	1.92E-01	Não	1.82E-01	Não	7.08E-01	Não	1.92E-01	Não	3.07E-01	Não
	inverno	2.00E-03	Sim	1.42E-01	Não	6.12E-01	Não	2.42E-01	Não	6.49E-04	Sim

Com um nível de significância de 5%, constatou-se através da Tabela 31 que as diferenças significativas de discrepância entre IBGE-PPP e CSRS-PPP ocorreram na componente “up” no período do inverno apenas para os intervalos de rastreo de 15 e 120 minutos.

Ocorreu também diferenças significativas para a componente “e” no período do inverno no intervalo de rastreo de 45 minutos, e no verão, nos intervalos de rastreo de 60 e 120 minutos.

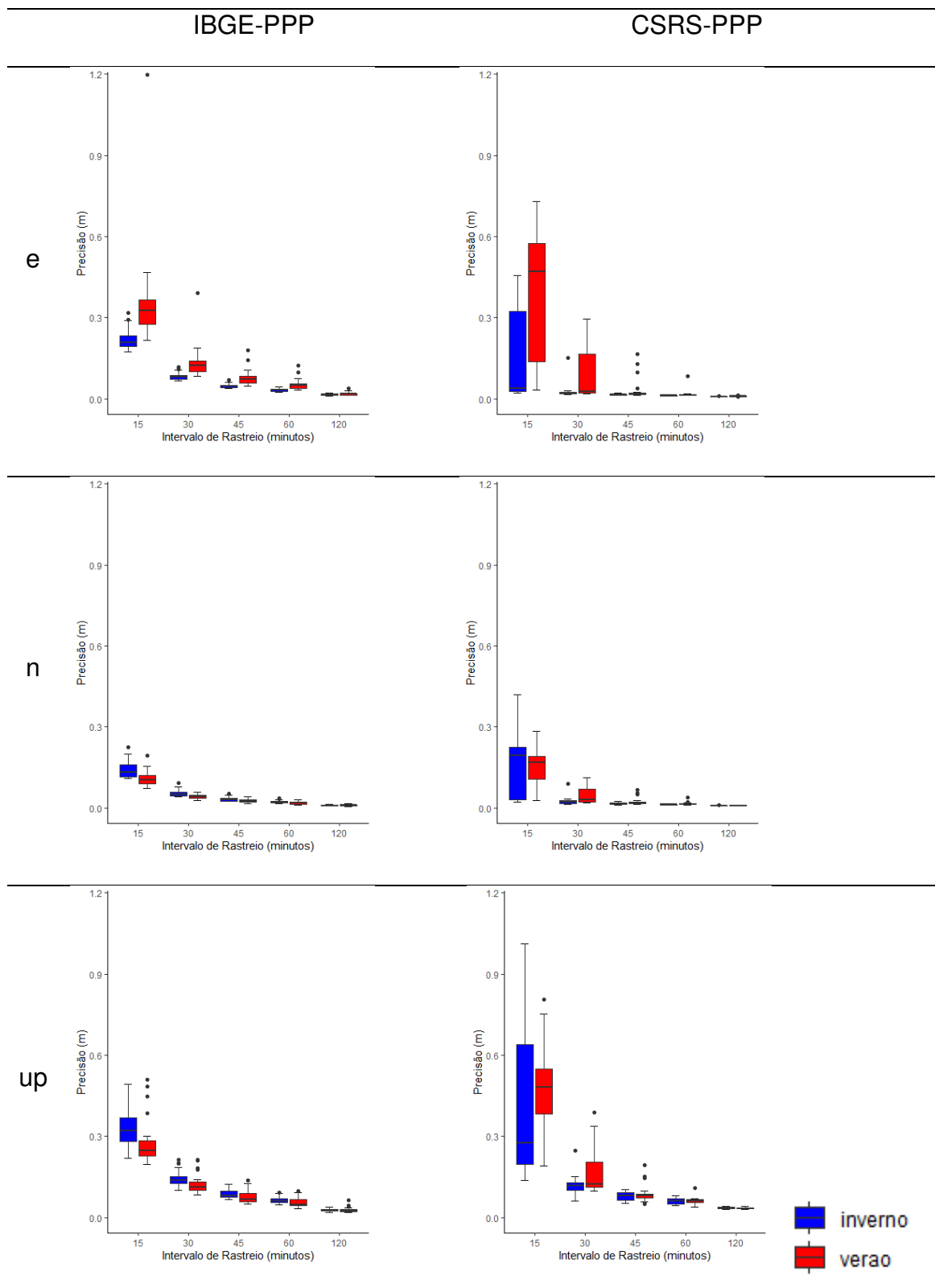
Já a componente “n” exibiu diferenças significativas no período do inverno nos intervalos de rastreo de 45, 60 e 120 minutos.

Contudo, cabe ressaltar que foram registradas poucas diferenças estatísticas nos intervalos de rastreo de 15, 30 e 45 minutos.

As precisões das coordenadas cartesianas geocêntricas obtidas nos dois serviços de processamento (IBGE-PPP e CSRS-PPP) foram propagadas para o SGL para realização das análises. O Gráfico 23 apresenta o *boxplot* de um conjunto de

precisões de 30 dias de clima seco e 30 dias de clima úmido obtidas no IBGE-PPP e CSRS-PPP.

Gráfico 23 - Precisão entre Verão e Inverno (Estação SMAR).



A análise dos *boxplots* presentes no Gráfico 23 evidencia a variação das precisões. Considerando o CSRS-PPP no intervalo de rastreio de 15 minutos foi possível notar maiores intervalos interquartis para as precisões. Ao observar o intervalo de rastreio de 30 minutos neste serviço de processamento foi verificado que os intervalos interquartis diminuíram e os valores de precisões declinaram, principalmente no inverno.

Nos demais intervalos, estas diferenças entre o clima seco e úmido tornaram-se imperceptíveis para o CSRS-PPP. Estes resultados estão em consonância com as porcentagens de soluções das ambiguidades obtidas neste serviço de processamento.

Foi possível detectar, observando as precisões obtidas em cada serviço de processamento, que no intervalo de rastreio de 15 minutos durante o verão as precisões obtidas no CSRS-PPP apresentaram um desempenho inferior comparado com o IBGE-PPP. Neste mesmo intervalo de rastreio, durante o inverno, a mediana revelou-se mais precisa, entretanto, o intervalo interquartil mostrou-se significativamente mais amplo.

Quando as ambiguidades são solucionadas os resultados do CSRS-PPP melhoram significativamente. No entanto, não é possível detectar visualmente no Gráfico 23 se as precisões superam as obtidas pelo IBGE-PPP.

Desta maneira, para evidenciar se houve diferenças significativas entre os resultados das precisões obtidas com os serviços de processamento IBGE-PPP e CSRS-PPP em diferentes climas foi realizado o teste estatístico de Wilcoxon Mann-Whitney e a Tabela 32 apresenta os *p-values* deste teste.

Tabela 32 - *p-value* do Teste de Wilcoxon Mann-Whitney das precisões entre Verão e Inverno (Estação SMAR).

		SMAR									
		Intervalo de Rastreio (minutos)									
		15		30		45		60		120	
		p-value	sign	p-value	sign	p-value	sign	p-value	sign	p-value	sign
e	ibge	3.09E-10	Sim	9.08E-12	Sim	4.94E-11	Sim	7.24E-10	Sim	1.36E-02	Sim
	csrs	6.20E-07	Sim	2.41E-05	Sim	9.53E-05	Sim	6.72E-05	Sim	2.48E-12	Sim
n	ibge	8.68E-06	Sim	2.42E-04	Sim	3.03E-03	Sim	3.32E-02	Sim	9.36E-01	Não
	csrs	9.01E-01	Não	2.80E-05	Sim	3.72E-03	Sim	1.69E-02	Sim	8.66E-01	Não
up	ibge	1.17E-04	Sim	2.00E-03	Sim	1.22E-03	Sim	6.97E-03	Sim	5.04E-01	Não
	csrs	1.42E-01	Não	2.63E-02	Sim	9.59E-01	Não	7.19E-01	Não	4.85E-01	Não

Os resultados dos testes estatísticos apresentados na Tabela 32 ressaltaram diferenças significativas, a 5% de significância, entre os períodos de verão e inverno para ambas as precisões obtidas nos serviços de processamento. Para a componente “e” o IBGE-PPP apresentou diferenças significativas em todos os intervalos de rastreios. Já para as componentes “n” e “up” apenas o intervalo de rastreo de 120 minutos não apresentou diferença estatística

Já o CSRS-PPP também apresentou diferenças significativas em todos os intervalos de rastreo para a componente “e”. Entretanto, a componente “n” nos intervalos de 15 e 120 minutos não apresentaram diferenças estatística. Por fim, a componente “up” apresentou diferença significativa entre os climas verão e inverno apenas para o intervalo de rastreo de 30 minutos.

Uma análise similar será conduzida, onde a Tabela 33 exibe os *p-values* do teste de Wilcoxon Mann-Whitney para as precisões obtidas entre o IBGE-PPP e CSRS-PPP. Nessa abordagem, pretende-se avaliar se as precisões obtidas com IBGE-PPP têm diferenças significativas para o mesmo conjunto de dados processados e obtidos com CSRS-PPP.

Tabela 33 - *p-value* do Teste de Wilcoxon Mann-Whitney das precisões entre IBGE-PPP e CSRS-PPP (Estação SMAR)

		SMAR									
		Intervalo de Rastreo (minutos)									
		15		30		45		60		120	
		p-value	sign	p-value	sign	p-value	sign	p-value	sign	p-value	sign
e	verão	1.42E-02	Sim	2.60E-03	Sim	2.75E-09	Sim	3.12E-13	Sim	6.76E-17	Sim
	inverno	1.77E-01	Não	4.84E-13	Sim	1.69E-17	Sim	1.69E-17	Sim	1.69E-17	Sim
n	verão	2.47E-03	Sim	2.16E-02	Sim	7.74E-05	Sim	7.74E-05	Sim	7.41E-01	Não
	inverno	7.64E-01	Não	3.89E-13	Sim	1.69E-17	Sim	3.38E-17	Sim	9.12E-01	Não
up	verão	5.29E-06	Sim	6.97E-03	Sim	4.15E-02	Sim	5.14E-02	Não	7.49E-07	Sim
	inverno	6.76E-01	Não	3.12E-04	Sim	2.03E-01	Não	5.82E-01	Não	7.50E-09	Sim

Ao adotar um nível de significância de 5%, foi constatado através da Tabela 33 que os *p-values* indicaram diferenças estatisticamente significativas entre os serviços de processamento IBGE-PPP e CSRS-PPP, dispersas ao longo dos intervalos de rastreo.

Nos intervalos de 15, 30 e 45 minutos, no verão, houve diferença significativa em todas as componentes entre o IBGE-PPP e CSRS-PPP. Já para o inverno apenas no intervalo de 30 minutos de rastreo houve diferença significativa para todas as componentes.

No intervalo de rastreo de 15 minutos, para o inverno, nenhuma componente apresentou diferença significativa. Em outras palavras, os dois serviços de processamento não estimaram precisões estatisticamente diferentes no clima seco.

Por fim, visando uma exploração complementar dos resultados, a Tabela 34 apresenta o RMSE das componentes e, n e up no SGL.

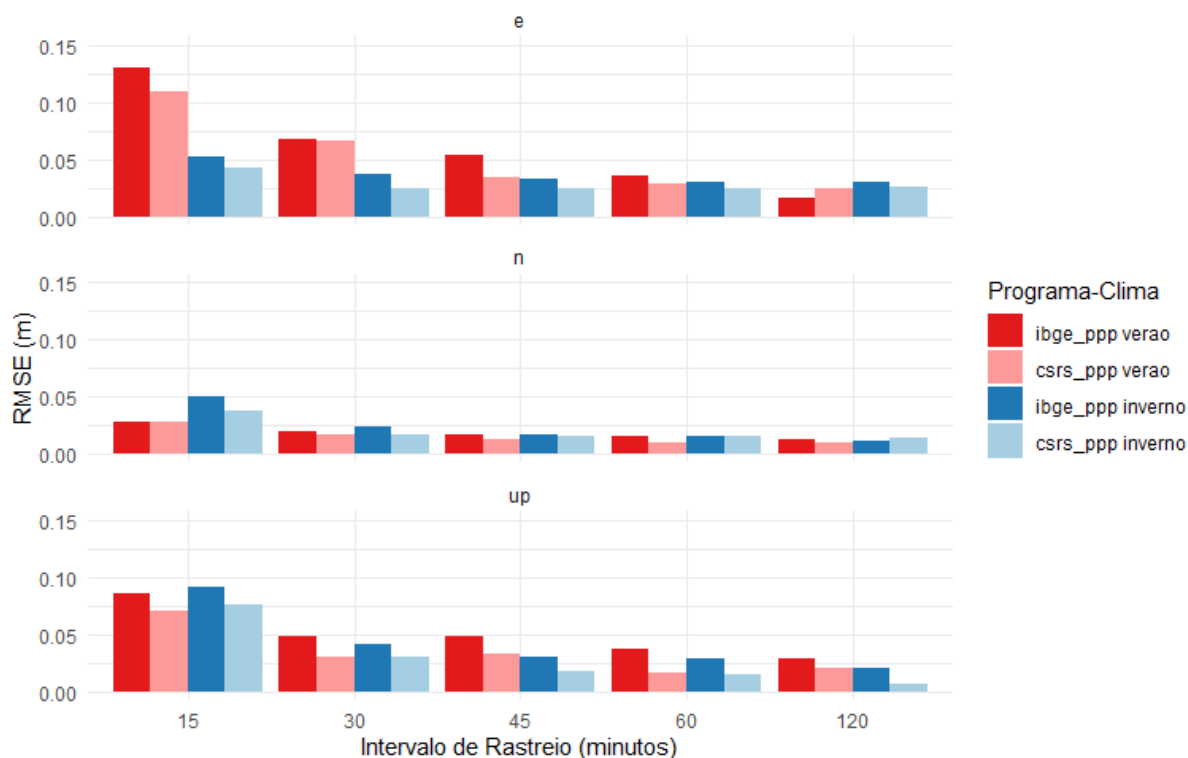
Tabela 34 - RMSE da estação SMAR

		SMAR					
		Intervalo de rastreo					
		15 minutos RMSE (m)	30 minutos RMSE (m)	45 minutos RMSE (m)	60 minutos RMSE (m)	120 minutos RMSE (m)	
e	ibge	verão	0.130	0.068	0.054	0.036	0.016
	csrs	verão	0.109	0.066	0.035	0.028	0.024
	ibge	inverno	0.053	0.037	0.032	0.030	0.030
	csrs	inverno	0.042	0.025	0.025	0.025	0.026
n	ibge	verão	0.028	0.020	0.017	0.015	0.012
	csrs	verão	0.028	0.016	0.013	0.010	0.010
	ibge	inverno	0.050	0.024	0.017	0.016	0.011
	csrs	inverno	0.038	0.017	0.016	0.016	0.015
up	ibge	verão	0.085	0.048	0.048	0.038	0.029
	csrs	verão	0.070	0.030	0.032	0.016	0.021
	ibge	inverno	0.092	0.042	0.030	0.029	0.020
	csrs	inverno	0.076	0.030	0.017	0.015	0.006

Foi verificado através da Tabela 34 que o maior valor de RMSE foi registrado com IBGE-PPP, com valor de 0.130m no intervalo de 15 minutos de rastreo. Por outro lado, o menor valor foi alcançado no CSRS-PPP na componente “up”, com 0.006m observado no intervalo de rastreo de 120 minutos. Contudo, nessa estação um valor decimétrico foi observado no CSRS-PPP, sendo 0.109m observado na componente “e” no intervalo de rastreo de 15 minutos.

A seguir, o Gráfico 24 representa visualmente as informações contidas na Tabela 34 por meio de um gráfico de barras, proporcionando uma compreensão mais clara dos valores apresentados.

Gráfico 24 - Gráfico de barras dos valores de RMSE obtidos na estação SMAR



No Verão, ambos os serviços demonstram uma sensibilidade baixa à variação do intervalo de rastreo, com quedas pequenas nos RMSEs à medida que o intervalo de rastreo aumenta, exceto entre os intervalos iniciais para as componentes “e” e “up”. O padrão persiste no Inverno, com ambos os serviços mostrando uma resposta positiva a intervalos de rastreo mais curtos na componente “up”.

Cabe destacar uma estabilização nos valores do RMSE ao longo dos intervalos de rastreo a partir de 45 minutos.

O CSRS-PPP obteve uma melhora modesta no valor de RMSE na componente “e” nos intervalos iniciais em ambos os climas. Contudo, para intervalos mais longos foi notado uma estabilização dos valores em ambos os serviços. Nas demais componentes o desempenho dos serviços de processamento foi semelhante.

Nos resultados apresentados é possível notar as melhorias que a solução da ambiguidade pode proporcionar nas componentes do SGL, corroborando com o trabalho de Banville *et al.* (2021), que exibiu também estas melhorias. Atiz e Kalayci (2021) utilizando o CSRS-PPP com AR habilitado observou as melhorias em termos de acurácia que o PPP-AR pode obter.

Os resultados apresentaram ainda as melhorias provenientes de processamentos realizados em climas secos em relação ao clima úmido. Theodoro (2020), detectou que diferentes correções troposféricas podem influenciar na solução da ambiguidade e conseqüentemente no RMSE das coordenadas processadas. É importante destacar que, como ilustra a Tabela 03, as funções de mapeamento e modelagem a priori da troposfera são distintas. Porém cabe ressaltar que também foi constatado os melhores valores de RMSE em clima seco. Estas conclusões, em termos gerais, ocorrem em todas as estações analisadas.

7 CONCLUSÃO

A pesquisa conduzida empregou seis estações posicionadas em diferentes regiões do Brasil, cada uma caracterizada por condições climáticas distintas. Foram selecionados 30 dias no clima úmido (verão) e 30 dias no clima seco (inverno) para que fosse possível avaliar a influência da umidade na solução das ambiguidades em contextos antagônicos. Ainda foi realizado fragmentações de intervalos de rastreamento distintos para verificar se a influência da solução da ambiguidade no PPP pode beneficiar o usuário na relação custo-benefício ao diminuir intervalos de rastreamento, sem comprometer a qualidade das coordenadas obtidas. Desta forma, foi avaliado os resultados dos processamentos PPP através de discrepâncias, precisões e RMSE das componentes do SGL.

Em relação ao processamento dos dados, ao utilizar dois serviços de processamento (IBGE-PPP e CSRS-PPP), é importante notar que, embora ambos realizem o PPP, eles empregam *softwares* diferentes, funções de mapeamento e modelagem a priori da troposfera distintos, e utilizam produtos de órbita e relógio dos satélites diferentes. Além disso, o IBGE-PPP não soluciona as ambiguidades GPS. Portanto, foi possível comparar se os resultados obtidos por um serviço fornecido de forma gratuita no Brasil podem ser superiores à nova implementação adotada pelo serviço do NRCan.

Com relação aos climas distintos adotados, constatou-se que a umidade característica do verão teve um impacto significativo nas soluções das ambiguidades obtidas durante o intervalo de rastreamento de 15 minutos com o CSRS-PPP. Em todas as estações adotadas nesta pesquisa, observou-se ausência na solução das ambiguidades no clima úmido em determinados dias, sendo que as estações AMCR e PITN foram as mais afetadas. Esta influência do clima úmido não apenas prejudicou a solução das ambiguidades, mas também acarretou impacto nas discrepâncias, precisões e RMSE obtidos, refletindo diretamente na qualidade dos resultados.

Por outro lado, é importante ressaltar que, durante o mesmo período de rastreamento (15 minutos) no inverno, já foram registradas taxas de solução das ambiguidades. Neste contexto, a precisão das componentes do SGL foi positivamente influenciada, apresentado melhorias significativas entre os diferentes climas. Consequentemente,

observou-se uma melhora na precisão em todas as estações durante o clima seco em comparação com o clima úmido, especialmente nas componentes “e” e “up”.

Adicionalmente, notaram-se melhorias em termos de discrepância e RMSE em todas as componentes e em todas as estações durante este intervalo de rastreo. No entanto, apenas na estação CUIB foi observado um comportamento adverso na componente “up” durante o inverno em relação ao verão no serviço de processamento do NRCan.

Para o intervalo de rastreo de 30 minutos, ainda no CSRS-PPP, já foi possível observar um aumento na taxa das soluções das ambiguidades durante o verão, com a estação AMCR ainda sendo a mais afetada, dada sua localização na região amazônica, caracterizada por um clima muito úmido. Nesta estação, foram registrados 16 dias sem soluções das ambiguidades. No inverno e neste mesmo intervalo de rastreo, apenas casos pontuais não apresentaram soluções das ambiguidades. Com um aumento das taxas de soluções mesmo em condições de clima úmido, observou-se melhorias nos resultados de discrepâncias, precisões e RMSE nas componentes do SGL, chegando, em alguns casos, a se equiparar aos resultados observados no inverno.

Ao considerar os intervalos de rastreo mais longos (45, 60 e 120 minutos), foi possível observar altas taxas de soluções das ambiguidades obtidas com o CSRS-PPP em todas as estações, independente do clima. Consequentemente, os resultados das componentes do SGL em termos de discrepâncias, precisões e RMSE foram se estabilizando. Graficamente, em alguns casos, não foi possível detectar diferenças, demonstrando estabilidade ao longo destes intervalos de rastreo.

Outra comparação que pode ser feita nesta pesquisa é em relação as diferenças entre os resultados obtidos pelo IBGE-PPP, que não apresenta soluções da ambiguidade, com o CSRS-PPP. Para embasar os resultados, foi utilizado o teste estatístico de Wilcoxon Mann Whitney para detectar se houve diferenças significativas em cada componente do SGL e em cada intervalo de rastreo adotado entre os dois serviços de processamento. Contudo, não se pode afirmar de uma maneira geral qual serviço apresentou melhor desempenho, entretanto foi notado resultados estatisticamente significativos variando ao longo dos intervalos de rastreo e nas componentes “e”, “n” e “up” para as discrepâncias e precisões.

Uma característica em ambos os serviços é o desempenho entre os climas úmido e seco, o clima úmido acarretou resultados de discrepâncias, precisões e

RMSE maiores em relação ao clima seco nos intervalos de rastreo iniciais, salvo algumas exceções.

Uma outra característica destacada nesta pesquisa diz respeito às precisões obtidas nos dois serviços de processamento. No CSRS-PPP, durante o intervalo de rastreo de 15 minutos, notou-se que, em condições de clima úmido, as precisões foram, em geral, maiores às obtidas pelo IBGE-PPP nas estações analisadas. No entanto, em condições de clima seco, as precisões para a componente "e" no serviço do NRCan mostraram-se melhores nas estações AMCR, BRAZ, CUIB e PITN. Esta variação está relacionada com a solução das ambiguidades, que apresentou taxas maiores durante o clima seco.

A escolha de estações em locais distintos no Brasil, mostrou-se eficaz para comparar os resultados e evitar tendências locais ao apontar uma característica melhor em cada serviço. Foi possível observar também que os intervalos de rastreo adotados apresentaram resultados importantes no que se refere as discrepâncias, precisões e RMSE para apontar as influências que podem ocorrer quando as ambiguidades não são solucionadas no CSRS-PPP.

Com base no RMSE, foi observado que houve pouca variação na componente "n" nos intervalos de rastreo em todas as estações desta pesquisa, tanto no clima úmido quanto no seco, para ambos os serviços de processamento. Entretanto, na componente "e", é perceptível que o CSRS-PPP apresentou os melhores valores em ambos os climas em comparação com IBGE-PPP, com algumas exceções no intervalo de 120 minutos de rastreamento. Esta amplitude de melhora entre os serviços é mais pronunciada nos intervalos iniciais, com exceção da estação SMAR.

Em relação a componente "up" houve intervalos de rastreo nas estações CUIB, RJNI e SMAR que o IBGE-PPP apresentou melhores resultados de RMSE em relação ao CSRS-PPP. O que pode ressaltar os efeitos das funções de mapeamento e modelagem a priori da troposfera distintos nos serviços de processamento. No entanto, não se pode concluir definitivamente que uma função de mapeamento apresenta desempenho superior ou inferior. Um exemplo a ser considerado é o caso da estação localizada no ambiente mais úmido (AMCR), onde o CSRS-PPP apresentou resultados de RMSE melhores para a componente "up".

Desta forma, recomenda-se a utilização do CSRS-PPP para dados obtidos dentro do território brasileiro, contudo, deve-se observar o percentual das soluções das ambiguidades atingidas no processamento, pois pode apresentar incertezas altas

quando a solução não é alcançada. Entretanto, alerta-se para o procedimento de compatibilização de referencial e época para SIRGAS2000, época 2000.4, além de propagar as incertezas. Este passo é fundamental ao utilizar o serviço do NRCan.

Na pesquisa realizada, para intervalos de rastreamento acima de 45 minutos o CSRS-PPP apresentou consistência na solução das ambiguidades (altas taxas) tanto no verão quanto no inverno e forneceu valores estáveis e melhores de RMSE para as componentes do SGL quando comparadas ao IBGE-PPP.

Vale salientar que o serviço prestado pelo IBGE é de suma importância e o processamento realizado, onde o usuário tem acesso aos resultados tanto na época do levantamento quanto em SIRGAS2000 (época 2000,4), ajudou a disseminar a utilização do serviço de PPP dentro do Brasil. Desta forma, dado que o serviço de processamento do IBGE utiliza um *software* desenvolvido pelo próprio NRCan, seria recomendável a atualização do *software* utilizado pelo IBGE para aquele adotado no CSRS-PPP. Esta atualização tem o potencial de melhorar o posicionamento, ao incorporar parâmetros já utilizados pelo IBGE, e utilizar um *software* que demonstrou melhorias nas componentes do SGL ao adotar a solução das ambiguidades GPS no PPP.

REFERÊNCIAS

- ALVES, C. M. D. **Solução de ambiguidades GPS no posicionamento por ponto preciso utilizando uma rede de estações**. Dissertação (Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação)–Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.
- ALVES, C. M. D.; MONICO, J. F. G.; ROMÃO, V. M. C. Análise da acurácia no PPP a partir da solução de ambiguidades GPS em curtos períodos de ocupação. **Revista Brasileira de Cartografia**, n 63/5, p. 589-600, 2011.
- ATIZ, O. F.; KALAYCI, I. Performance Assessment of PPP-AR Positioning and Zenith Total Delay Estimation with Modernized CSRS-PPP. **Artificial Satellites**. 56. 18-34, 2021
- BANVILLE, S.; GENG, J.; LOYER, S.; SCHAER, S.; SPRINGER, T.; STRASSER, S. On the interoperability of IGS products for precise point positioning with ambiguity resolution. **Journal of Geodesy**, 94(10). (2020). <https://doi.org/10.1007/s00190-019-01335-w>
- BANVILLE, S.; HASSEN, E.; LAMOTHE, P.; FARINACCIO, J.; DONAHUE, B.; MIREAULT, Y.; GOUDARZI, M. A.; COLLINS, P.; GHODDOUSI-FARD, R.; KAMALI, O. Enabling ambiguity resolution in CSRS-PPP. **Navigation**.2021;68(2):433–451. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/navi.423>. Acesso em 28 dez.2023.
- BARROS, E. A. C.; MAZUCHELI J. Um estudo sobre o tamanho e poder dos testes t-Student e Wilcoxon. **Acta Sci. Technol.** Maringá, v. 27, n. 1, p. 23-32, jan./jun., 2005.
- BLEWITT, G. Carrier phase ambiguity resolution for the global positioning system applied to geodetic baselines up to 2000 km. **Journal Geophys Research** v.94, B8, p.10187-10203, 1989.
- BLEWITT, G. (2008). Fixed point theorems of GPS carrier phase ambiguity resolution and their application to massive network processing: Ambizap, **J. Geophys.** k, 113, B12410, doi:10.1029/2008JB005736.
- BLEWITT, G.; KREEMER, C.; HAMMOND, W. C.; PLAG, H. P.; STEIN, S.; OKAL, E. Rapid determination of earthquake magnitude using GPS for tsunami warning systems. **Geophys Res Lett.** (2016) 33(11):L11309. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2006GL026145> . Acesso em 28 dez.2023.
- BÖHM, J.; H. SCHUH. **Vienna mapping functions in VLBI analyses**. Geophysical Research Letters, Vol. 31, L01603, DOI: 10.1029/2003GL018984, 2004.
- BÖHM, J.; WERL, B.; SCHUH, H. Troposphere mapping functions for GPS and very long baseline interferometry from European Centre for MediumRange Weather Forecasts operational analysis data. **J. Geophys. Res.** 111,B02406. 2006.

BRAGA, F. L. S. **Efeitos da refração troposférica no posicionamento por ponto preciso no Brasil**. 118f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil / Informações Espaciais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2018.

CAI, C.; GAO, Y. GLONASS-based precise point positioning and performance analysis. **Advances in Space Research**, v. 51, n. 3, p. 514–524, 2013.

CARVALHO, A. S. **Implicações do emprego de diferentes modelos de velocidades e parâmetros da transformação de Helmert no posicionamento geodésico na placa sulamericana**. 2015. Tese Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFV. Viçosa-MG, 2015.

CHAVES, W. O.; MONICO, J. F. G. ANÁLISE DA CONSISTÊNCIA ENTRE O ITRF2014 E O SIR15P01. In: XXVII Congresso Brasileiro de Cartografia e XXVI Expositiva 6 a 9 de novembro de 2017. **Anais [...]**, Rio de Janeiro - RJ, 2017, p. 149-153.

COLLINS, P.; BISNATH, S.; LAHAYE, F.; HÉROUX, P. Undifferenced GPS Ambiguity Resolution using the Decoupled Clock Model and Ambiguity Datum Fixing. **Journal of the Institute of Navigation**, v.57, n.2, p. 123-135, 2010.

CONOVER, W. J. (1999). **Practical nonparametric statistics** (3rd ed.).

CPTEC. **Centro de previsão de tempo e estudos climáticos**. Disponível em: <http://infoclima1.cptec.inpe.br/#>. Acesso em: 12 dez. 2021.

DAVIS, J. L., HERRING, T. A., SHAPIRO I., ROGERS, A. E. & ELGENED, G. Geodesy by Interferometry: Effects of Atmospheric Modeling Errors on Estimates of Base Line Length. **Radio Sci.**, 1985, vol. 20, 1593-1607.

DREWES, H., O. HEIDBACH. **The 2009 Horizontal Velocity Field for South America and the Caribbean**. In: Kenyon S., M.C. Pacino, U. Marti (Eds.), "Geodesy for Planet Earth", IAG Symposia, 136: 657-664, 2012.

ELSHEIKH, M.; IQBAL, U.; NOURELDIN, A.; KORENBERG, M. The Implementation of Precise Point Positioning (PPP): A Comprehensive Review. **Sensors** 2023, 23,8874. <https://doi.org/10.3390/s23218874>

GE, M.; GENDT, G.; ROTHACHER, M.; SHI, C.; LIU, J. **Resolution of GPS carrier-phase ambiguities in precise point positioning (PPP) with daily observations**. *J Geod* 82(7):389–399. (2008). Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00190-007-0187-4>. Acesso em 12 nov.2021.

GENG, J.; CHEN, X.; PAN, Y.; MAO, S.; LI, C.; ZHOU, J.; ZHANG, K. PRIDE PPP-AR: an open-source software for GPS PPP ambiguity resolution. **GPS Solut** 23, 91 (2019). Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10291-019-0888-1> Acesso em 12 nov.2021.

GHODDOUSI-FARD, R. **Modelling tropospheric gradients and parameters**

from NWP models: Effects On GPS estimates. Ph.D, dissertation, Dept. Geodesy Geomatics Eng., Univ. New Brunswick, Fredericton, NB, Canada, Tech. Rep. 264, pp. 216, 2009.

GOUDARZI, M. A.; BANVILLE, S. **Application of PPP with ambiguity resolution in earth surface deformation studies: a case study in eastern Canada**, Survey Review, 2017 DOI: 10.1080/00396265.2017.1337951

GOUVEIA, T. A. F. **Função de Mapeamento Brasileira da Atmosfera Neutra e Sua Aplicação no Posicionamento GNSS na América do Sul.** Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas) – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2019. 129p.

GRATTON, P.; BANVILLE, S.; LACHAPELLE, G.; O'KEEFE, K. KINEMATIC Zenith Tropospheric Delay Estimation with GNSS PPP. In: **Mountainous areas**. Sensors 2021, 21, 5709. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/s21175709>. Acesso em: 10 jan.2023.

GREWAL, M. S.; ANDREWS, A. P.; BARTONE, C. G.; **Global navigation satellite systems, inertial navigation, and integration**, 4th Edition. Willey, 2020, 608p.

HÅKANSSON M., JENSEN A. B., HOREMUZ M., HEDLING G. (2017). **Review of code and phase biases in multi-GNSS positioning.** GPS Solutions, 21(3), 849-860. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10291-016-0572-7>. Acesso em: 10 jan.2023.

HERNÁNDEZ-PAJARES, M.; JAUN, J. M.; SANZ, J.M.; ORUS, R.: Second order ionospheric term in GPS: Implementation and impact on geodetic estimates, **J. Geophys. Res.** 112(B08417), 1–16 (2007) doi:10.1029/2006JB004707

HERRING, T. A., Modelling atmospheric delays in the analysis of space geodetic data, In: **Symposium on Refraction of Transatmospheric Signals in Geodesy**, Netherlands Geod. Commis. Ser. 36, edited by J. C. DeMunk and T. A. Spoelstra, pp. 157-164, Ned. Comm. voor Geod., Delft, 1992.

HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; WASLE, E.. **Global Navigation Satellite System: GPS, GLONASS, GALILEO and more.** Springer Wien New York, 2008, 516p.

IBGE, **IBGE-PPP: Serviço on-line para Pós-Processamento de dados GNSS v.2023.** Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia, Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101677.pdf>. Acesso em 26 fev. 2024

IBGE, **IBGE-PPP: Serviço on-line para Pós-Processamento de dados GNSS .** Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia, Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-sobre-posicionamento-geodesico/servicos-para-posicionamento-geodesico/16334-servico-online-para-pos-processamento-de-dados-gnss-ibge-ppp.html>. Acesso em 18 abr. 2024

IERS Conventions (2010). Gérard Petit and Brian Luzum (eds.). **IERS Technical Note 36**. Frankfurt am Main: Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie, 2010. 179 p., ISBN 3-89888-989-6. Site <<https://www.iers.org/IERS/EN/Publications/TechnicalNotes/tn36.html>>, Acesso em 10 mar.2024.

IGS (2021). International GNSS Service. **Products**. Disponível em: <https://www.igs.org/products> . Acesso em 12 nov.2021.

IGS (2024). International GNSS Service. **Precise Point Positioning with Ambiguity Resolution (PPP-AR) Working Group**. Disponível em: <https://igs.org/wg/ppp-ar/>. Acesso em 18 abr.2024.

ISO, “ISO 19157:2013, Geographic information – Data quality”, International Organization for Standardization (ISO), Geneva, ISO, 2013. 146p
INTERNATIONAL GNSS SERVICE ANALYSIS CENTER COORDINATOR (IGS ACC). **Chronology of IGS reference frame usage**. 2020. Disponível em: <http://acc.igs.org/igs-frames.html>. Acesso em: 02 dez. 2021.

KOUBA, J.; LAHAYE, F.; TÉTREAULT, P. Precise Point Positioning. In: TEUNISSEN, P. J. G.; MONTENBRUCK, O. (Ed.) **Springer handbook of global navigation satellite systems**. Springer, Berlin, 2017. p. 723-752.

KOUBA, J. Testing of global pressure/temperature (GPT) model and global mapping function (GMF) In: **GPS analyses**, J. Geod., 83(3–4), 199–208, doi:10.1007/s00190-008-0229-6, 2008.

LAPA, L. Testes estatísticos: breves reflexões. **Reflexões em torno de Metodologias de Investigação: recolha de dados**, v. 2, p. 73-86, 2021.

LAURICHESSE, D.; MERCIER, F.; BERTIAS, J.; BROCA, P.; CERRI, L. **Integer ambiguity resolution on undifferenced GPS phase measurements and its applications to PPP and satellite precise orbit determination navigation**. Navigation 56(2):135–149. 2009

LEANDRO, R.F.; SANTOS, M.C.; LANGLEY, R.B. Analyzing GNSS data in precise point positioning software. **GPS Solut** 15(1):1–13. (2011)
<https://doi.org/10.1007/s10291-010-0173-9>.

LEICK, A; RAPOPORT, L.; TATARNIKOV, D.; **GPS Satellite Surveying**. New York: John Wiley & Sons, 2015.

LIMA, C. M. D. A.; MONICO, J. F. G.; MARQUES, H. A. PPP com solução inteira das ambiguidades da fase da onda portadora: Fundamentos e Resultados. **RBC. Revista Brasileira de Cartografia**, v. 68, p. 1063-1077, 2016.

MARINI, J. W. **Correction of satellite tracking data for an arbitrary tropospheric profile**. Radio Sci. v. 7, p. 223-231, 1972.

MARÔCO, J. **Análise Estatística com o SPSS Statistics (6ª ed.)**. Lisboa:

ReportNumber. 2014

MARQUES, H. A.; MONICO, J. F. GALERA; SHIMABUKURO, M. H.; OYAMA, ROGÉRIO TAKESHI; WENTZ, J. P. T. G.. PPP em Tempo Real: fundamentos, implementação computacional e análises de resultados no modo estático e cinemático. **RBC. Revista Brasileira de Cartografia**, v. 66, p. 1331-1345, 2014.

MELBOURNE, W.G. (1985). The case for ranging in GPS-based geodetic systems. **1st International Symposium on Precise Point Positioning with GPS**. Rockville, Maryland.

MONICO, J.F.G. **Posicionamento pelo GNSS: Descrição, fundamentos e aplicações**. 2.ed. São Paulo: Editora UNESP, 476 p, 2008.

MUTLU, B.; EROL, S.; ALKAN, R. M. The Performance Analysis of the Post-mission Web-based Static and Kinematic PPP-AR Service. **Rudarsko-geološko-naftni zbornik**. 38. 103-116., 2023

NIELL, A. E. Global Mapping Functions for the Atmosphere Delay at Radio Wavelengths. **Journal of Geophysical Research**, Vol. 101, No.B2, Pages 3227-3246, 1996.

NRCAN, PRECISE Point Positioning CSRS-PPP. **Natural Resources Canada – NRCAN/CSRS-PPP Version 3: Tutorial, 2020**. Disponível em: https://webapp.geod.nrcan.gc.ca/geod/tools-outils/sample_doc_filesV3/NRCAN%20CSRS-PPP-v3_Tutorial%20EN.pdf. Acesso em nov. 2021.

NRCAN, PRECISE Point Positioning CSRS-PPP. **Natural Resources Canada – NRCAN, 2024**. Disponível em: <https://webapp.csrscs.nrcan-nrcan.gc.ca/geod/tools-outils/ppp-info.php?locale=en>. Acesso em fev. 2024.

PETIT, G., LUZUM, B. IERS CONVENTIONS 2010. IERS Technical Note:36, Frankfurt am Main: **Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie**, 2010. 179pp., ISBN 3-89888-989-6.

RAMOS, M. P. **Análise das possibilidades de transformação de referencial e atualização de coordenadas no PPP**. 99f. 2015. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) da UFV.Viçosa, 2015.

REBISCHUNG, P. e SCHMID, R. **Switch to IGB14 reference frame**. 2020. Disponível em: <https://lists.igs.org/pipermail/igsmail/2020/007917.html>. Acesso em 01 dez. 2021.

REBISCHUNG, P.; SCHMID, R.. IGS14/igs14.atx: a new Framework for the IGS Products. 2016. **American Geophysical Union**. Disponível em: <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1341338/1341338.pdf> . Acesso em dez. 2021.

ROCKEN, C.; JOHNSON, J.; HOVE, T. V.; IWABUCHI, T. Atmospheric water vapor and geoid measurements in the open ocean with GPS. **Geophys Res Lett**

32(12):L12813. (2005) Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2005G L022573>. Acesso em 23 dez. 2023.

SANZ SUBIRANA, J.; JUAN ZORNOZA, J. M.; HERNÁNDEZ-PAJARES, M. GNSS Data Processing, Volume I: **Fundamentals and algorithms**. Publisher: ESA Communications, ESTEC, Noordwijk, Netherlands, ISBN 978-92-9221-886-7, 2013.

SAPUCCI, L. F.; MACHADO, L. A. T.; MONICO, J. F. G. Modelagem dinâmica do atraso zenital troposférico para America do Sul empregando previsão numérica de tempo. In: I SIMGEO, 2004. Recife. **Anais I SIMGEO**, 2004.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy: foundations, methods and applications**. 2.ed., Berlin, New York: Walter de Gruyter, 589p, 2003.

SEEPERSAD, G.; BISNATH, S. Integrity monitoring in Precise Point Positioning. In: **Proceedings of ION GNSS 2013**, Institute of Navigation, Nashville, Tennessee, USA. 16–20 September (2013).

SETTI JÚNIOR, P. T.; SILVA, C. M.; OLIVEIRA JR, P.S.; ALVES, D. B. M.; MONICO, J. F. G. Posicionamento multi-GNSS. RBC. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 72, n. Especial 50 anos p. 1200-1224, 2020.

SHI, J. **Precise point positioning integer ambiguity resolution with decoupled clocks**. PhD thesis, University of Calgary. 2012.

SHI, J; GAO Y. A comparison of three PPP integer ambiguity resolution methods. **GPS Solutions**. v. 18. n. 4. p. 519 - 528. 2014.

SIRGAS. Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas. **Definição do SIRGAS**. Disponível em: <https://www.sirgas.org/pt/sirgas-definicao/>. Acesso em: 03 nov. 2021.

THEODORO, L. T. C. **Análise da influência da modelagem troposférica na resolução de ambiguidades no PPP**. Dissertação (Ciências Geodésicas) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2020.

VMF1 (2023): Vienna Mapping Function. Disponível em: <https://vmf.geo.tuwien.ac.at/products.html>. Acesso em 16 de fevereiro de 2023.

WESTON, N. D.; SOLER, T. Rigorous Geodetic Positioning in the Americas. 2012.

WÜBBENA, G. (1985) Software developments for geodetic positioning with GPS using TI-4100code and carrier measurements. **1st International Symposium on Precise Point Positioning with GPS**. Rockville, Maryland.

XU, G.; XU, Y. **GPS: Theory, Algorithms and Applications**; 3rd Edition; Springer: Heidelberg, Germany, p. 508, 2016.

ZUMBERGE, J.F.; HEFLIN, M.B.; JEFFERSON, D.C.; WATKINS, M.M.; WEBB, F.H. **Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks**. *J Geophys Res Solid Earth* 102(B3):5005–5017; 1997.

APÊNDICE A – ALGORITMO PARA TABULAÇÃO DE DADOS PROCESSADOS NO IBGE-PPP E CSRS-PPP

No Apêndice A é apresentado o algoritmo implementado em linguagem python para tabulação dos dados processados nos serviços de processamento IBGE-PPP e CSRS-PPP. O algoritmo obtém as coordenadas cartesianas, desvios padrões e correlações dos arquivos .txt. Para o CSRS-PPP o algoritmo também obtém a porcentagem da ambiguidade solucionada no processamento.

```
# -*- coding: utf-8 -*-
import os
import csv

# open the file in the write mode
csv_file = open('coord_data.csv', 'w', encoding='utf-8')

# create the csv writer
writer = csv.writer(csv_file, lineterminator='\n')

# write a row to the csv file
writer.writerow(['estação', 'data', 'duração', 'X', 'Y', 'Z', 'sigmaX', 'sigmaY', 'sigmaZ',
'IAR', 'correlXY', 'correlXZ', 'correlYZ'])

def csrs (directory):
    files = os.listdir(directory)

    i = 0
    for file in files:

        treated_file = file
        while (ord('a') <= ord(treated_file[0]) and ord(treated_file[0]) <= ord('z')) or
(ord('A') <= ord(treated_file[0]) and ord(treated_file[0]) <= ord('Z')):
            treated_file = treated_file[1:]

        date = treated_file[:3]
        date = int(date)

        p1, p2 = file.split('_')
        duration, file_format = p2.split('.')
        duration = int(duration)
        #print(duration)

        files[i] = (date, duration, file)
        i+=1
```

```
files.sort()
```

```
for file_tuple in files:
```

```
    date, duration, file = file_tuple  
    #print(date, duration, file)
```

```
    f = open(directory+'/'+file, 'r')  
    message = f.read()
```

```
    #print(message)
```

```
    f.close()  
    lines = message.split('\n')
```

```
    #print(lines)
```

```
    lines = [line.split() for line in lines]
```

```
    IAR_line = []  
    for line in lines:  
        if len(line) > 0:  
            if line[0] == 'IAR':  
                IAR_line = line
```

```
    MKR_line = []  
    for line in lines:  
        if len(line) > 0:  
            if line[0] == 'MKR':  
                MKR_line = line
```

```
    POS_lines = []  
    for line in lines:  
        if len(line) > 0:  
            if line[0] == 'POS':  
                POS_lines.append(line)
```

```
    X_line = []  
    for line in POS_lines:  
        if (line[1] == 'X'):  
            X_line = line
```

```
    Y_line = []  
    for line in POS_lines:  
        if (line[1] == 'Y'):  
            Y_line = line
```

```
    Z_line = []  
    for line in POS_lines:
```

```

    if (line[1] == 'Z'):
        Z_line = line

    csv_row = [MKR_line[1], str(date), str(duration), X_line[5], Y_line[5], Z_line[5],
X_line[7], Y_line[7], Z_line[7], IAR_line[1], Y_line[8], Z_line[8], Z_line[9]]
    writer.writerow(csv_row)

def ibge (directory):
    files = os.listdir(directory)

    i = 0
    for file in files:

        treated_file = file
        while (ord('a') <= ord(treated_file[0]) and ord(treated_file[0]) <= ord('z')) or
(ord('A') <= ord(treated_file[0]) and ord(treated_file[0]) <= ord('Z')):
            treated_file = treated_file[1:]

        date = treated_file[:3]
        date = int(date)
        #print(date)

        p1, p2 = file.split('_')
        duration, more, file_format = p2.split('.')
        duration = int(duration)
        #print(duration)

        files[i] = (date, duration, file)
        i+=1

    files.sort()

    for file_tuple in files:
        date, duration, file = file_tuple
        f = open(directory+'/'+file, 'r', encoding='latin-1')
        message = f.read()

        f.close()
        lines = message.split('\n')

        section3_2index = lines.index(' 3.2 Sessao Observada')
        station_line_idx = section3_2index+2
        station_line = lines[station_line_idx]
        station_line = station_line.split()

        section3_3index = lines.index(' 3.3 Coordenadas Estimadas na Data do
Levantamento')
        X_line_idx = section3_3index+5
        Y_line_idx = section3_3index+6
        Z_line_idx = section3_3index+7

```

```

X_line = lines[X_line_idx]
X_line = X_line.split()

Y_line = lines[Y_line_idx]
Y_line = Y_line.split()

Z_line = lines[Z_line_idx]
Z_line = Z_line.split()

X_line_correlation_idx = X_line_idx+6
Y_line_correlation_idx = Y_line_idx+6
Z_line_correlation_idx = Z_line_idx+6

X_line_correlation = lines[X_line_correlation_idx]
X_line_correlation = X_line_correlation.split()

Y_line_correlation = lines[Y_line_correlation_idx]
Y_line_correlation = Y_line_correlation.split()

Z_line_correlation = lines[Z_line_correlation_idx]
Z_line_correlation = Z_line_correlation.split()

csv_row = [station_line[4], str(date), str(duration), X_line[3], Y_line[3], Z_line[3],
X_line[4], Y_line[4], Z_line[4], ", X_line_correlation[2], X_line_correlation[3],
Y_line_correlation[2]]
writer.writerow(csv_row)

while True:
    directory = input('Please insert the directory path: ')
    #print(directory)

    try:
        csrs(directory)
    except:
        try:
            ibge(directory)
        except:
            print('ERROR: The files in the given directory have their name and/or content
in an invalid format. Please, check if the correct path to the directory was inserted')
            input('Press ENTER to try again')
            continue

    ans = input('Would you like to extract data from another directory? (Y/N)')
    if ans == 'Y':
        continue
    else:
        input('Press ENTER to quit')
        csv_file.close()
        exit(0)

```