

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

Victor Dallagnol Bento

**AVALIAÇÃO DE CORREÇÕES DO ERRO IONOSFÉRICO EM
RECEPTORES GNSS DE FREQUÊNCIA SIMPLES**

Santa Maria, RS
2019

Victor Dallagnol Bento

**AVALIAÇÃO DE CORREÇÕES DO ERRO IONOSFÉRICO EM RECEPTORES GNSS
DE FREQUÊNCIA SIMPLES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Computação da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Bacharel em Engenharia de Computação**.

ORIENTADORA: Prof.^a Andrea Schwertner Charão

COORIENTADOR: Prof. Adriano Petry

Santa Maria, RS
2019

©2019

Todos os direitos autorais reservados a Victor Dallagnol Bento. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

Endereço: Rua Venâncio Aires, n. 739/212

Fone (0xx) 54 99176 3745; End. Eletr.: victor.bento@ecomp.ufsm.br

Victor Dallagnol Bento

**AVALIAÇÃO DE CORREÇÕES DO ERRO IONOSFÉRICO EM RECEPTORES GNSS
DE FREQUÊNCIA SIMPLES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Engenharia de Com-
putação da Universidade Federal de Santa Ma-
ria (UFSM, RS), como requisito parcial para
obtenção do grau de **Bacharel em Engenharia
de Computação**.

Aprovado em 9 de dezembro de 2019:

Andrea Schwertner Charão, Dra. (UFSM/PPGI)
(Orientadora)

Adriano Petry, Dr. (COCRE/CRCRS)
(Coorientador)

Carlos Henrique Barriquello, Dr. (UFSM)

Daniel Fernando Tello Gamarra, Dr. (UFSM)

Santa Maria, RS
2019

RESUMO

AValiação DE CORREÇÕES DO ERRO IONOSFÉRICO EM RECEPTORES GNSS DE FREQUÊNCIA SIMPLES

AUTOR: Victor Dallagnol Bento

ORIENTADORA: Andrea Schwertner Charão

COORIENTADOR: Adriano Petry

Este projeto tem como finalidade avaliar diferentes correções ionosféricas aplicadas em dispositivos GPS de frequência simples. O erro nos dados de posicionamento em receptores de sistemas globais de navegação por satélite (GNSS) é causado principalmente pela refração ionosférica que é proporcional ao conteúdo total de elétrons (TEC) presente na camada ionosférica, que por sua vez depende de diversas variáveis, dentre delas o ciclo solar, a época do ano e o campo magnético da Terra. A definição de uma correção ionosférica mais eficaz, resultará em melhores informações fornecidas pelos receptores GPS de frequência simples, também resultará em impactos na área de pesquisa acadêmica e no setor econômico. Foram utilizadas na avaliação correções ionosféricas baseadas no modelo SUPIM-DAVS (Modelo de Plasma-Ionosfera da Universidade de Sheffield - Sistema de Visualização e Assimilação de Dados), utilizado pela simulação ionosférica do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), no modelo GIM (Mapa Global Ionosférico) utilizado pelo IGS (Serviço Internacional de GNSS) e no modelo de Klobuchar. A correção de receptores GNSS de dupla frequência foi utilizada como base para as comparações, uma vez que consegue compensar a refração da ionosfera aplicando a combinação linear dos dados das duas frequências utilizadas. Para efetuar a avaliação, foram utilizadas 100 estações GNSS espalhadas pelo mundo, avaliadas durante um dia de cada mês do ano de 2018. O programa presente no RTKLib gerou os arquivos de pós-processamento para cada uma das correções ionosféricas, referentes a cada estação. Por fim, estes arquivos de pós-processamento foram avaliados através do cálculo da distância euclidiana entre a localização da estação (conhecida) e o posicionamento gerado pelo RTKLib, em um programa criado na linguagem Python. O modelo Klobuchar mostrou-se muito eficaz, em comparação com os demais modelos analisados neste projeto, na correção do erro ionosférico em receptores GNSS de frequência simples, justificando seu atual uso em diversos dispositivos GPS.

Palavras-chave: Receptores GNSS. Refração Ionosférica. Klobuchar. INPE. SUPIM-DAVS. IGS. GIM. Python, Avaliação.

ABSTRACT

EVALUATION OF IONOSPHERIC ERROR CORRECTIONS ON SIMPLE FREQUENCY GNSS RECEIVERS

AUTHOR: Victor Dallagnol Bento
ADVISOR: Andrea Schwertner Charão
CO-ADVISOR: Adriano Petry

This project aims to evaluate different ionospheric corrections applied in single frequency GPS devices. The error in positioning data in Global Navigation Satellite Systems (GNSS) receivers is mainly caused by the ionospheric refraction that is proportional to the total electron content (TEC) present in the ionospheric layer, which in turn depends on several variables, among them the solar cycle, the time of year and the magnetic field of the earth. Defining a more effective ionospheric correction will result in better information provided by single-frequency GPS receivers, and will also result in impacts on academic research and the economic sector. Ionospheric corrections based on the SUPIM-DAVS model (Sheffield University Plasma-Ionosphere Model - Data Visualization and Assimilation System), used by the ionospheric simulation of INPE (National Institute for Space Research), named GIM (Global Map), were used in the evaluation. Ionospheric) used by the IGS (International GNSS Service) and the Klobuchar model. The correction of dual frequency GNSS receivers was used as the basis for the comparisons, since it can compensate for the ionosphere refraction by applying the linear combination of the data of the two frequencies used. To perform the evaluation, 100 GNSS stations around the world were used, evaluated during a cadet day of 2018. The RTKLib program generated the post processing files for each of the ionospheric corrections for each station. Finally, these postprocessing files were evaluated by calculating the Euclidean distance between the station location (known) and the positioning generated by RTKLib in a Python language program. The Klobuchar model proved to be very effective, compared to other models analyzed in this project, in correcting the ionospheric error in single frequency GNSS receivers, justifying its current use in several GPS devices.

Keywords: GNSS Receivers. Ionospheric Refraction. Klobuchar. INPE. SUPIM-DAVS. IGS. GIM. Python, Evaluation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Relação Recombinação x Densidade x Altura.	15
Figura 2.2 – Relação Recombinação x Densidade x Altura.	16
Figura 2.3 – Caminho de propagação de um sinal de satélite para o receptor.	24
Figura 2.4 – Exemplo de mapa gerado pelo modelo SUPIM-DAVS	27
Figura 3.1 – Diagrama das etapas realizadas para o projeto	30
Figura 3.2 – Site do RTKLib.	31
Figura 3.3 – Instalação do RTKLib no Elementary OS	31
Figura 3.4 – RTKPost e RNX2RTKP	32
Figura 3.5 – Verificação do dia escolhido no arquivos de Órbitas dos Satélites	34
Figura 3.6 – Verificação do arquivo de Antena	35
Figura 3.7 – Arquivos referentes ao dia 010 (10.01.2018)	36
Figura 3.8 – Configurações RTKPost: Dupla Frequência (esquerda), arquivo IONEX (cen- tro), e Klobuchar (direita)	37
Figura 3.9 – Fluxograma modelo da mecânica do funcionamento de cada Script	40
Figura 3.10 – Fluxograma básico da mecânica do funcionamento do Software de Avaliação	41
Figura 4.1 – Resultado numérico da avaliação feita pelo software criado	43
Figura 4.2 – Exemplo de estações com amostragem alteradas	44
Figura 4.3 – Representação da média do erro por estação com distribuição global	46
Figura 4.4 – Representação do erro distribuído por estações em função dos meses	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Subcamadas da Atmosfera	14
Tabela 2.2 – Aplicações RTKLib	29
Tabela 3.1 – Datas e conversões para download dos arquivos	33
Tabela 4.1 – Erro médio de cada método de correção para os dias avaliados	42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<i>GNSS</i>	Sistema Global de Navegação Por Satélite
<i>GPS</i>	Sistema de Posicionamento Global
<i>NAVSTAR — GPS</i>	Satélite de Navegação com Tempo e Variação - Sistema de Posicionamento Global
<i>EUA</i>	Estados Unidos da América
<i>SPS</i>	Serviço de Posicionamento Padrão
<i>PPS</i>	Serviço de Posicionamento de Precisão
<i>SA</i>	Disponibilidade Seletiva
<i>TEC</i>	Conteúdo Total de Elétrons
<i>IGS</i>	Serviço Internacional de GNSS
<i>SUPIM</i>	Modelo de Plasma-Ionosfera da Universidade de Sheffield
<i>DAVS</i>	Sistema de Visualização e Assimilação de Dados
<i>INPE</i>	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
<i>RTKLib</i>	Biblioteca Cinemática em Tempo Real
<i>SIDs</i>	Distúrbios Ionosféricos Súbitos
<i>HF</i>	Alta Frequência
<i>UV</i>	Ultra Violeta
<i>EUV</i>	Extremo Ultra Violeta
<i>SECOR</i>	Sistema de Classificação Sequencial de Intervalo
<i>GLONASS</i>	Sistema de Navegação Global via Satélite Russo
<i>Galileo</i>	Sistema de Navegação Global via Satélite da União Europeia
<i>Beidou/Compass</i>	Sistema de Navegação Global via Satélite Chines
<i>CDMA</i>	Acesso Múltiplo por Divisão de Código
<i>SAR</i>	Busca e Salvamento
<i>CE</i>	Comissão Europeia
<i>VTEC</i>	TEC Vertical
<i>STEC</i>	TEC Inclinado

<i>IONEX</i>	Troca de Ionosfera [RINEX] Formato de Troca Independente do Receptor
<i>GUI</i>	Interface Gráfica de Usuário
<i>CUI</i>	Interface de Caracteres de Usuário [QZSS] Sistema de Satélite Quase-Zênite
<i>SBAS</i>	Sistema de Aumento Baseado em Satélite
<i>DGPS</i>	Sistema de Posicionamento Global Diferencial
<i>DGNSS</i>	GNSS Diferencial
<i>OBS</i>	Arquivos RINEX de Observação
<i>NAV</i>	Arquivos Rinex de Navegação
<i>ANTEX</i>	Formato de Troca de Antena
<i>CLK</i>	Relógio
<i>RTCM</i>	Comissão Técnica de Rádio para Serviços Marítimos
<i>NTRIP</i>	Transporte em Rede da RTCM via Protocolo da Internet
<i>TCP</i>	Protocolo de Controle de Transmissão
<i>IP</i>	Protocolo de Internet
<i>FTP</i>	Protocolo de Transferência de Arquivo
<i>HTTP</i>	Protocolo de Transferência de Hipertexto
<i>PPP</i>	Posicionamento de Ponto Preciso
<i>CDDIS</i>	O sistema de Informação de Dados da Crustal Dynamics
<i>SNR</i>	Relação Sinal-Ruído
<i>PCV</i>	Variação do Centro da Fase da Antena
<i>IPP</i>	Ionospheric Pierce Point - Ponto de Furo Ionosférico
<i>CODE</i>	Centro de Determinação de Órbitas na Europa
<i>ESA</i>	Agência Espacial Europeia
<i>JPL</i>	Laboratório Global de Propulsão a Jato
<i>UPC</i>	Catalunha-Barcelona Tech
<i>NADA</i>	Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	JUSTIFICATIVA	12
1.2	OBJETIVOS GERAIS	12
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
1.4	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	IONOSFERA	14
2.2	GNSS - SISTEMA GLOBAL DE NAVEGAÇÃO POR SATÉLITE	17
2.2.1	GPS	17
2.2.2	GLONASS	19
2.2.3	Galileo	20
2.2.4	Beidou	21
2.3	VARIAÇÕES DO CONTEÚDO TOTAL DE ELÉTRONS	21
2.3.1	Variações diárias e sazonais	21
2.3.2	Radiação Solar	22
2.3.3	Localização	22
2.3.4	Campo Magnético terrestre	22
2.4	CORREÇÕES IONOSFÉRICAS	23
2.4.1	Combinação Linear Livre da Ionosfera - ion-free	23
2.4.2	Modelos Ionosféricos	24
<i>2.4.2.1</i>	<i>NeQuick</i>	<i>25</i>
<i>2.4.2.2</i>	<i>Modelo de Klobuchar</i>	<i>25</i>
<i>2.4.2.3</i>	<i>SUPIM-DAVS</i>	<i>26</i>
<i>2.4.2.4</i>	<i>IGS</i>	<i>26</i>
2.5	ANÁLISE DE PÓS-PROCESSAMENTO	27
3	METODOLOGIA	30
3.1	ETAPA 1: INSTALAÇÃO DO RTKLIB	30
3.2	ETAPA 2: OBTENÇÃO DOS ARQUIVOS	32
3.3	ETAPA 3 - CONFIGURAÇÃO DO SOFTWARE	35
3.4	ETAPA 4 - EXECUÇÃO	39
3.5	ETAPA 5 - AVALIAÇÃO	40
4	RESULTADOS	42
4.1	AVALIAÇÃO NUMÉRICA	42
4.2	AVALIAÇÃO GRÁFICA	44
5	CONCLUSÃO	48
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
	APÊNDICE A – TABELA CONTENDO MÉTRICAS AGREGADAS PARA AS ESTAÇÕES ANALISADAS	51
	APÊNDICE B – ARQUIVO DE CONFIGURAÇÃO PARA FREQUÊNCIA DUPLA	69
	APÊNDICE C – ARQUIVO DE CONFIGURAÇÃO PARA MODELO DE KLOBUCHAR	71
	APÊNDICE D – ARQUIVO DE CONFIGURAÇÃO PARA MODELO GIM .	73
	APÊNDICE E – ARQUIVO DE CONFIGURAÇÃO PARA MODELO SUPIM-DAVS	75

APÊNDICE F – SCRIPT PARA PÓS-PROCESSAMENTO DE DUPLA FREQUÊN- CIA	77
APÊNDICE G – SCRIPT PARA PÓS-PROCESSAMENTO DE FREQUÊN- CIA SIMPLES - KLOBUCHAR	78
APÊNDICE H – SCRIPT PARA PÓS-PROCESSAMENTO DE FREQUÊN- CIA SIMPLES - GIM	79
APÊNDICE I – SCRIPT PARA PÓS-PROCESSAMENTO DE FREQUÊN- CIA SIMPLES - SUPIM-DAYS	80
APÊNDICE J – SOFTWARE PARA AVALIAÇÃO DAS CORREÇÕES IO- NOSFÉRICAS	81

1 INTRODUÇÃO

O GNSS (Global Navigation Satellite System) ou Sistema de Navegação Global por Satélite, refere-se a um conjunto de sistemas de navegação por satélite que possuem a capacidade de oferecer posicionamento em qualquer local da superfície terrestre. Entre os sistemas de posicionamento encontra-se o mais popular, o GPS (Global Positioning System), originalmente conhecido por NAVSTAR-GPS (NAVigation Satellite with Time And Ranging Global Positioning System). Por meio de satélites, esse sistema fornece serviços gratuitos de posicionamento e cronometragem em todo o mundo, tendo sido desenvolvido para as forças armadas dos EUA em 1960 (TEUNISSEN; MONTENBRUCK, 2017).

Atualmente o GPS vem se popularizando cada vez mais perante a sociedade, sendo utilizado nas mais variadas atividades, como: aeronaves, expedições, automóveis, navegações marítimas, mapeamento e levantamento topográfico, locação de obras, controle de frotas, trabalhos com exploração, na agricultura e pecuária, na meteorologia, dentre outras. O GPS fornece basicamente dois serviços de posicionamento diferentes: o Serviço de Posicionamento de Precisão (PPS), originalmente desenvolvido para aplicações militares, e o Serviço de Posicionamento Padrão (SPS), para aplicações civis (TEUNISSEN; MONTENBRUCK, 2017). O primeiro é baseado no processamento de frequência dupla (L1 e L2) dos sinais de satélite, e o segundo em frequência simples (L1).

Receptores GPS de frequência dupla possuem um custo elevado em comparação com receptores de frequência simples, o que acarreta uma maior popularidade dos receptores de frequência simples. Até maio de 2000, a maior fonte de erro no posicionamento com dispositivos GPS era a técnica SA (Selective Availability - Disponibilidade Seletiva) que deteriorava propositalmente as coordenadas e os relógios dos satélites, impedindo o posicionamento de alta precisão para aplicações não militares, garantindo um melhor posicionamento somente para "usuários autorizados" (MATSUOKA; CAMARGO, 2002). O SA foi eficaz ao induzir erros nas efemérides da transmissão, que são as órbitas de satélite previstas usadas para calcular a posição do satélite. Na ausência da Disponibilidade Seletiva (SA), que foi abolida em maio de 2000, a maior fonte de erro no posicionamento de dispositivos GPS passou a ser a refração ionosférica (CAMARGO, 1999), que depende do conteúdo total de elétrons (TEC - Total Electron Content) na camada ionosférica. O TEC é influenciado pelo ciclo solar, as estações do ano, a hora local, a localização geográfica, o campo magnético da Terra, dentre outras variáveis (MATSUOKA; COLLISCHONN; CAMARGO, 2010). Os receptores GPS de frequência dupla conseguem amenizar este erro ionosférico utilizando uma combinação linear de suas frequências (L1 e L2) para compensar o TEC medido, enquanto receptores de frequência simples (L1) dependem de diferentes modelos que simulam a ionosfera e seu comportamento (HOLLWEG et al.,).

O objetivo principal deste trabalho é efetuar uma análise e comparação da correção do erro ionosférico em receptores de frequência simples utilizando modelos ionosféricos distintos,

tendo como base a correção feita pelo receptor de dupla frequência.

1.1 JUSTIFICATIVA

Em meados de 1995, o GPS foi declarado totalmente operacional, consistindo de uma constelação composta por 24 satélites, com um raio orbital de 26.559 Km. Atualmente, a constelação conta com 31 satélites operacionais, sendo que faz-se necessário o uso de manobras operacionais para manutenção de estações a fim de manter os satélites GPS próximos de suas posições nominais (slots). As manobras de satélites GPS são executadas conforme necessário (geralmente uma vez a cada 1-2 anos por satélite) e quando um satélite GPS atinge o fim da sua vida útil, seus sinais de navegação são desligados e o satélite é mandado para uma órbita de descarte a 500 Km de altitude (TEUNISSEN; MONTENBRUCK, 2017).

Os receptores GPS apresentam erros de posicionamentos que são ocasionados principalmente pela refração ionosférica. Para compensar este erro ionosférico, os receptores GPS de frequência dupla utilizam a combinação linear livre da ionosfera (ion-free) de suas frequências (L1 e L2) a fim de compensar o conteúdo total de elétrons (TEC) no caminho de propagação, eliminando assim aproximadamente 99% dos efeitos de primeira ordem da ionosfera (MARQUES et al., 2014). Já receptores de frequência simples necessitam o uso de modelos ionosféricos para efetuar a correção, como por exemplo o modelo SUPIM-DAVS (Modelo de Plasma-Ionosfera da Universidade de Sheffield - Sistema de Visualização e Assimilação de Dados), utilizado na simulação ionosférica do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais).

Este trabalho tem como objetivo comparar e analisar diferentes correções ionosféricas sobre os erros de posicionamento em receptores GNSS, especificamente, receptores GPS de frequência simples. Uma definição da melhor correção ionosférica para os posicionamentos de receptores GPS, resultará em uma melhoria na informação fornecida por dispositivos de posicionamento utilizados no dia a dia, em áreas e serviços que necessitam de posicionamento mais preciso. Também resultará em um impacto econômico, visto que receptores GPS de frequência simples são mais acessíveis financeiramente que receptores GPS de frequência dupla. A área de pesquisa acadêmica também será afetada positivamente com uma análise e possível implementação dos métodos de correção ionosféricos mais eficazes.

1.2 OBJETIVOS GERAIS

O projeto em questão tem como objetivo a avaliação de diferentes métodos para correção do erro ionosférico em receptores GPS de frequência simples. Para a avaliação, será criado um software capaz de estimar a melhor correção ionosférica, dentre as analisadas, aplicada em diferentes estações do mundo, em diferentes dias de um ano. Essas estações são simuladas

através de um software de pós-processamento presente na biblioteca RTK, gerando arquivos de pós-processamento, para cada uma das estações, que serão lidos pelo software desenvolvido.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Instalar o RTKLib.
- Estudo e download dos arquivos necessários para execução do software RTKPost (análise de pós-processamento), presente na biblioteca RTK. Obtenção dos mapas de TEC do IGS - Serviço Internacional de GNSS (modelo GIM), através do site, e obtenção dos mapas de TEC do INPE (modelo SUPIM-DAVS), através de simulação.
- Configuração do software RTKPost para simular as diferentes correções ionosféricas nas diferentes estações que serão utilizadas.
- Execução do RTKPost e geração dos arquivos de saída.
- Criação de um programa para efetuar a comparação das correções, com base nos arquivos gerados pelo RTKPost. Por fim um levantamento e análise dos resultados.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Após a apresentação do primeiro capítulo, referente a introdução, o trabalho será dividido em mais quatro capítulos. O segundo capítulo será sobre o referencial teórico, descrevendo os conceitos e conhecimentos prévios necessários para a realização deste projeto. O terceiro capítulo apresentará a metodologia utilizada para organização e aplicação das teorias estudadas, seguido pelo quarto capítulo que apresentará os resultados obtidos a partir das simulações e das execuções nos algoritmos criados. Por fim, o quinto capítulo apresentará as conclusões referentes a este trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo serão apresentados os principais conceitos necessários para a avaliação e comparação das correções ionosféricas em dispositivos de frequência simples. Serão apresentados conceitos sobre a ionosfera terrestre, receptores GNSS, o erro ionosférico, correção do erro ionosférico e sobre o software RTKLib.

2.1 IONOSFERA

Acima da superfície terrestre encontra-se a Atmosfera, composta por gases e dividida em subcamadas em função de suas respectivas altitudes. A maioria dos átomos e moléculas na parte mais baixa da Atmosfera são neutros (MOLDWIN, 2008). A Tabela 2.1 informa o nome de cada subcamada da Atmosfera, assim como sua respectiva altura e característica principal.

Tabela 2.1 – Subcamadas da Atmosfera

Nome	Altura	Característica
Troposfera	0-10 km	Ocorrência do Clima
Estratosfera	10-50 km	Localização da Camada de Ozônio
Mesosfera	50-80 km	Região de menor temperatura
Termosfera	80 km-	Início do espaço
Ionosfera	80 km-	Ocorrência das auroras

Fonte: Adaptado de (MOLDWIN, 2008).

As regiões de maior interesse da Atmosfera para receptores GNSS envolvendo posicionamento geodésico são a troposfera e a ionosfera (LEICK; RAPOPORT; TATARNIKOV, 2015). A troposfera é a camada mais baixa da atmosfera e contém cerca de 80% da massa atmosférica. Essa camada é 99% formada de partículas neutras, de vapor de água e aerossóis (TEUNISSEN; MONTENBRUCK, 2017). O comportamento da troposfera para frequências abaixo de 30 GHz é essencialmente de um meio não dispersivo, onde a refração não depende da frequência dos sinais que passam por ela, mas sim inclui efeitos da atmosfera gasosa e neutra (LEICK; RAPOPORT; TATARNIKOV, 2015).

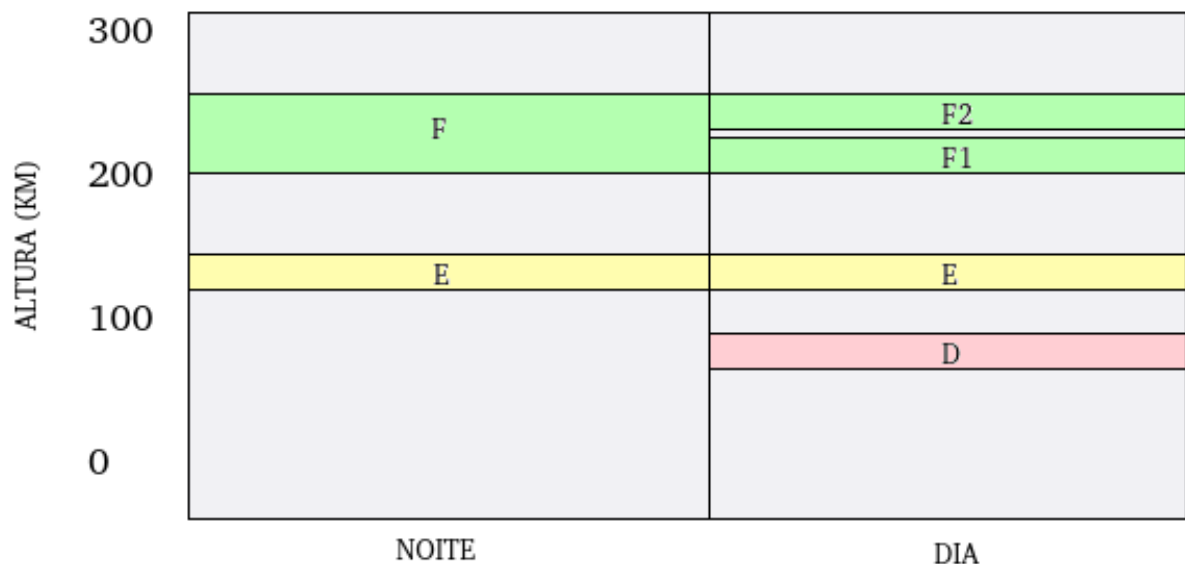
A ionosfera é a região da Atmosfera localizada acima dos 80 Km de altitude e seu nome provém de que em elevadas altitudes elétrons livres (criados pelo processo de ionização) sobrevivem tempo suficiente para se recombinarem com íons (átomos que vão perder ou ganhar elétrons). Ionização é o processo em que elétrons são removidos ou adicionados, produzindo átomos negativos ou positivos, sendo que na ionosfera é muito mais comum a produção de íons positivos (remoção de elétron do portador) tendo como principal causa fótons solares de alta energia (principalmente raios Ultravioleta e X) ou partículas energéticas que precipitam na

atmosfera e colidem com o gás circundante. O maior pico de elétrons livres encontra-se na região de aproximadamente 300 Km de altitude (MOLDWIN, 2008).

Durante períodos diurnos a ionosfera é densa, possuindo uma maior presença de elétrons livres pela fotoionização, que é a radiação eletromagnética solar. Durante a noite acontece a recombinação de íons e elétrons (que é a quantidade média de tempo necessário para que um íon e um elétron se juntem para formar um átomo neutro). Em baixas altitudes a recombinação, assim como a densidade, é mais alta, como pode ser visto na Figura 2.2. A quantidade de ionização é determinada pelo balanço da produção dos íons (por fotoionização) com a perda dos íons (por recombinação) (MOLDWIN, 2008).

A ionosfera é dividida em regiões (Figura 2.1) com base nas densidades de íons. A região D é a camada mais baixa da ionosfera (até 90 Km) e sua principal fonte de ionização são as moléculas de fóton solares (raios X) ionizantes das moléculas de ar (nitrogênio e oxigênio). Por possuir uma baixa densidade, a quantidade de recombinação é muito grande, o que acarreta a ausência desta região no período da noite. Aumentos rápidos na ionização da região D podem ser ocasionados por tempestades solares (grandes quantidades de Raio X). Esses aumentos são chamados de distúrbios ionosféricos súbitos (SIDs). A região D é importante pois absorve as ondas de comunicação por rádio de alta frequência (HF) causando degradação quando a comunicação é de longa distância. Quando os SIDs ocorrem a ionização se torna muito intensa na região D, acarretando em uma perda total da comunicação HF (MOLDWIN, 2008).

Figura 2.1 – Relação Recombinação x Densidade x Altura.



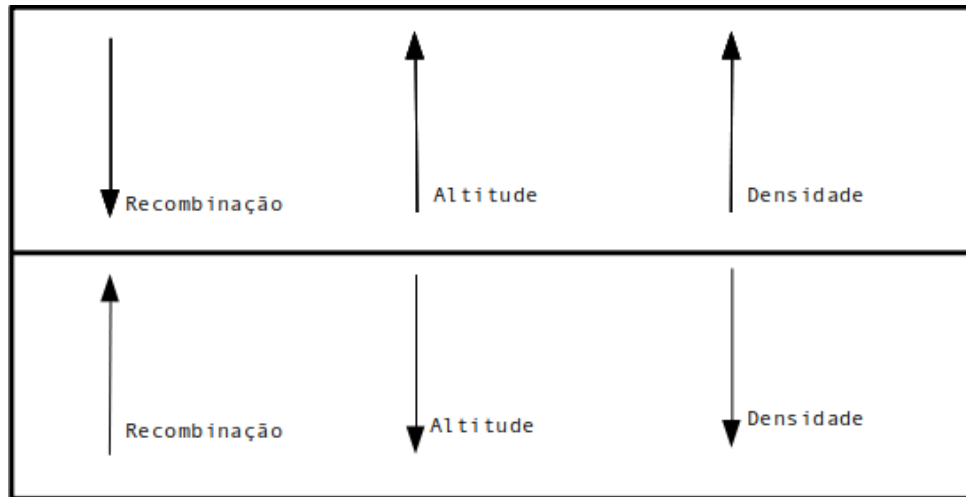
Fonte: Autor.

Na variação de aproximadamente 90 a 120 Km encontra-se a região E formada por raios X de baixa energia e ionização por radiação solar Ultravioleta (UV) do oxigênio (O_2). Sua densidade máxima é 100 vezes maior do que a densidade da região D porque a recombinação

é menos intensa nessas altas altitudes. Nas zonas mais baixas da atmosfera, os elétrons livres e íons desaparecem. Isto ocorre devido à maior densidade de partículas, portanto, a recombinação prevalecerá sobre a ionização. A densidade dos gases nas zonas mais altas é muito baixa. A região E também decai a noite, e sua principal fonte de ionização, além dos fótons solares, é devido a precipitação de partículas energéticas que atingem a Atmosfera. Esse impacto que causa precipitação, é o causador da luz emitida (auroras) nos hemisférios norte e sul. A região E ainda possui outras formas de ionização como os campos elétricos formados pelas auroras e meteoros que entram na atmosfera superior que obliteram (ou queimam) e afetam o ambiente neutro ao redor (MOLDWIN, 2008).

A última, e a mais densa, região da ionosfera é a região F, localizada acima de 120 Km. A região F também é formada pela radiação solar UV, e também diminui a noite, mas diferentemente das regiões D e E, a região F possui uma taxa de recombinação baixa. A constituição da camada é feita basicamente de átomos de oxigênio enquanto que nas regiões E e D a predominância é de moléculas de íons. Íons moleculares possuem taxas de recombinação muito maiores do que íons atômicos. Devido a fotoionização nas grandes altitudes, a região F é subdividida em outras duas regiões durante o dia (F1 e F2). Em relação às duas camadas formadas, a camada F2 é mais densa que a camada F1 (MOLDWIN, 2008).

Figura 2.2 – Relação Recombinação x Densidade x Altura.



Fonte: Autor.

Esses elétrons livres na camada ionosférica são mensurados em termos de conteúdo total de elétrons (TEC), que significa o número de elétrons livres, considerando um cilindro de área $1m^2$ ao longo do caminho entre emissor (satélite) e receptor (estação GNSS). Esses elétrons livres ocasionam uma interferência na portadora do sinal de transmissão, fazendo com que a ionosfera comporte-se como um meio dispersivo. O TEC é frequentemente expresso em unidades TEC ($TECU = 10^6 \text{ eletrons}/m^2$). O TEC vertical (VTEC) é determinado pela integração da densidade de elétrons em uma rota perpendicular ao solo, e o TEC inclinado (STEC) é obtido pela integração eletrônica ao longo da linha de transmissão (LEICK; RAPOPORT;

TATARNIKOV, 2015), que forma um ângulo diferente de 90 graus com o solo.

A ionosfera tem seu pico de ionização por volta das 15 horas (hora local), podendo apresentar valores maiores de 140 a 150 TECU. Quanto mais conhecidos forem os padrões atmosféricos, os cálculos das correções nas observações do GNSS serão mais precisos. Normalmente, são utilizadas a temperatura, pressão e umidade na antena do receptor e o TEC. O GPS também contribui para o mapeamento da distribuição espacial e temporal desses parâmetros atmosféricos (LEICK; RAPOPORT; TATARNIKOV, 2015).

2.2 GNSS - SISTEMA GLOBAL DE NAVEGAÇÃO POR SATÉLITE

O posicionamento global requer a estimação das distâncias entre o local sob análise e um conjunto de pelo menos quatro satélites GNSS com coordenadas conhecidas. As coordenadas dos satélites são determinadas pelo receptor usando sinais e dados de navegação transmitidos pelos satélites. O GNSS é formado por constelações de satélites que garantem que cada usuário tenha em qualquer ponto da terra e a qualquer momento, pelo menos quatro satélites à vista simultaneamente (SUBIRANA; ZORNOZA; HERNÁNDEZ-PAJARES, 2013).

Entre os anos de 1950 e 1960, surgiram os primeiros sistemas globais para posicionamento e navegação de alta precisão, desenvolvidos para rastrear satélites, determinar suas órbitas e obter o posicionamento geodésico. O primeiro satélite artificial em órbita foi o Sputnik I da União Soviética, lançado para o espaço em 1957, e tendo conhecimento de sua órbita, seria possível determinar a posição dos receptores. Com essa informação desenvolveu-se o Transit, o primeiro sistema de posicionamento baseado em satélite utilizado pela Marinha dos EUA, tornando-se totalmente operacional em 1959. No ano de 1996 o Transit foi desativado e substituído pelo GPS, seu sucessor, que foi baseado no conceito de medição de alcance, usando constelações diferentes com cobertura contínua o que ocasiona uma melhor precisão no posicionamento global (TEUNISSEN; MONTENBRUCK, 2017; LEICK; RAPOPORT; TATARNIKOV, 2015).

Um GNSS consiste em três segmentos: o segmento espacial (satélites), segmento de controle ou terrestre (funcionamento do sistema) e o segmento de usuários (posicionamento, velocidade e tempo preciso dos sistemas GNSS). GPS, Glonass, Galileo e Beidou são alguns dos sistemas de navegação por satélite mais importantes, sendo capazes de fornecer posicionamento contínuo por todo mundo (SUBIRANA; ZORNOZA; HERNÁNDEZ-PAJARES, 2013).

2.2.1 GPS

Operado pelo governo dos EUA, o GPS é capaz de fornecer o posicionamento em qualquer lugar do mundo, sob qualquer condição climática, durante as 24 horas do dia, oferecendo

inicialmente dois tipos de serviços: um serviço destinado ao uso militar (PPS) e o serviço de posicionamento padrão (SPS) disponível para qualquer pessoa. Essa separação de serviços (SPS e PPS) não caracteriza o uso atual do GPS (LEICK; RAPOPORT; TATARNIKOV, 2015). Em 1995 o GPS foi considerado totalmente operacional, com 24 satélites GPS em órbita, separados em grupos de quatro, organizados em seis planos orbitais igualmente espaçados ao redor da Terra. Os satélites são divididos em blocos e estão localizados a uma altitude de 20.200 Km com uma inclinação de 55° ao Equador. O formato das órbitas destes satélites é quase circular, possuindo uma excentricidade menor que 0,02 com um eixo semi-principal de 26.560 Km e um período nominal de 11 horas, 58 minutos e 2 segundos (TEUNISSEN; MONTENBRUCK, 2017; SUBIRANA; ZORNOZA; HERNÁNDEZ-PAJARES, 2013; SEEGER, 2003).

São identificados quatro observáveis provindas dos sinais transmitidos pelos satélites GPS (SEEGER, 2003):

- pseudo-distâncias medidas através do código;
- diferenças de Pseudo-distâncias das contagens Doppler integradas;
- fase da onda portadora ou diferença da fase da onda portadora;
- diferenças no tempo de viagem do sinal das medições interferométricas.

Existem diferentes tipos de satélites GPS com diferentes funcionalidades desde que ocorreu o primeiro lançamento. Nomeados em Blocos de acordo com a época de seu lançamento e sua funcionalidade, os blocos de satélite GPS são:

- Bloco I: Formado por satélites de Desenvolvimento de Navegação. Com uma vida útil de 4 a 5 anos e pesando aproximadamente 845 Kg, onze satélites desse tipo foram lançados entre os anos de 1978 e 1985, sendo capazes de fornecer serviços de posicionamento por três dias sem depender de contato com a central de controle (TEUNISSEN; MONTENBRUCK, 2017; SUBIRANA; ZORNOZA; HERNÁNDEZ-PAJARES, 2013; SEEGER, 2003). II, IIA e IIR: O Bloco II e IIA é formado por Satélites Operacionais, com uma vida útil de 7 a 8 anos, com um total de 28 satélites que foram lançados em 1989 e alguns ainda permanecem em operação. Os satélites do Bloco II e IIA pesam cerca de 1.500 Kg, e em 1990 os satélites do Bloco II foram aprimorados para o Bloco IIA (avançado) possuindo uma comunicação mútua, capazes de fornecer serviços de posicionamento por 180 dias sem contato com a central de controle. No modo de operação normal, eles precisam de uma comunicação diária com a central de controle. Os satélites do Bloco IIR (R - Reabastecimento) são satélites Operacionais de Substituição, produzidos para substituir a série II e IIA, pesam aproximadamente 2.000 Kg com uma vida útil de 10 anos, sendo capazes de operar sem apoio da central de controle por 6 meses e sem degradar a precisão das efemérides (conjunto de 16 a 20 elementos que definem a trajetória elipsoidal de cada satélite). Também são capazes de determinar autonomamente suas

órbitas e gerar suas próprias mensagens de navegação, de medir as distâncias entre eles e transmitir observações para outros satélites ou para a central de controle (TEUNISSEN; MONTENBRUCK, 2017; SUBIRANA; ZORNOZA; HERNÁNDEZ-PAJARES, 2013; SEEGER, 2003).

- Bloco IIR-M, IIF e III: Os satélites do Bloco IIR-M são Satélites Modernizados, evoluções dos IIR. Lançados em 26 de setembro de 2005, os satélites IIR-M incluem um novo sinal para uso militar e um melhor sinal para uso civil. No Bloco IIF os satélites são Operacionais de Acompanhamento e foram lançados em 28 de maio de 2010, possuindo mais recursos que os satélites da série IIR-M com adição de um terceiro sinal (L5) e um sistema de navegação inercial. A frequência L5 é uma faixa de frequência protegida para aplicações proporcionando uma "segurança da vida" civil, com tempo médio de vida de aproximadamente 15 anos. O Bloco III contém satélites com recursos de navegação aprimorados, que fornecerão o quarto sinal civil na banda L1, melhorando a interoperabilidade (capacidade de comunicação transparente) e a resistência a congestionamentos. A identificação dos satélites GPS pode acontecer de diferentes maneiras, dentre elas estão a sua posição no plano orbital, seu número de referência da NASA, seu código de ruído pseudo-aleatório (PRN), seu número de veículo espacial (SVN), etc (TEUNISSEN; MONTENBRUCK, 2017; SUBIRANA; ZORNOZA; HERNÁNDEZ-PAJARES, 2013; SEEGER, 2003).

2.2.2 GLONASS

GLONASS (Sistema de Navegação Global via Satélite Russo) é o sistema de navegação global por satélite russo. Semelhante ao GPS, foi projetado para suportar 24 satélites, onde cada satélite está espaçado com uma inclinação de $64,8^\circ$ em cada um dos três planos orbitais separados por 120° . As órbitas possuem forma circular, com cada raio de 25.500 Km, acarretando em um período orbital de cerca de 11 horas 15 minutos (LEICK; RAPOPORT; TATARNIKOV, 2015). Atualmente dois tipos diferentes de sinais são transmitidos pelos satélites GLONASS: o SPS e o PPS. O SPS ou Serviço de Posicionamento Padrão é um serviço aberto, gratuito para usuários em todo o mundo possuindo frequências G1, e G1 e G2 (GLONASS-M) e o PPS ou Serviço de Posicionamento Preciso, restrito a usuários militares e autorizados. Dois sinais de navegação são fornecidos nas duas bandas de frequência G1 e G2 (TEUNISSEN; MONTENBRUCK, 2017; SUBIRANA; ZORNOZA; HERNÁNDEZ-PAJARES, 2013).

O seu primeiro satélite lançado em 1982, seguido de mais 17 satélites lançados até o ano de 1985. Esses satélites foram protótipos, considerados a Geração Zero pertencentes ao Bloco I. Os próximos satélites foram lançados entre 1985 e 1990 e eram considerados satélites completos, com peso de aproximadamente 1.250 Kg e com vida útil variada mas de no máximo

4,5 anos. Pela vida útil variada, os satélites foram classificados como Blocos II, IIA e IIV, melhorando o padrão e estabilidade de frequência e o padrão de tempo em comparação com o Bloco I (TEUNISSEN; MONTENBRUCK, 2017; SUBIRANA; ZORNOZA; HERNÁNDEZ-PAJARES, 2013).

A próxima leva de satélites lançados foi a GLONASS-M (Modificação) em 2001, possuindo um melhor sistema de propulsão e uma melhor estabilidade do clock em comparação aos anteriores, resultando em uma vida útil maior (7 anos). Possuindo aproximadamente 1.480 Kg, os satélites possuem um segundo sinal na banda G2, que permite aos usuários civis cancelar a refração ionosférica. Em 2011 foi lançada uma nova versão de satélites GLONASS, o GLONASS-K. Possuindo 750 Kg e uma vida útil de 10 a 12 anos, esses satélites fornecem um novo sinal CDMA (acesso múltiplo) na banda G3 para aplicações civis e também incluem o sistema de busca e salvamento (SAR) (TEUNISSEN; MONTENBRUCK, 2017; SUBIRANA; ZORNOZA; HERNÁNDEZ-PAJARES, 2013).

2.2.3 Galileo

Galileo é o sistema Europeu de navegação por satélite, desenvolvido e implementado pela colaboração entre a Agência Espacial Europeia (ESA) e a Comissão Europeia (CE) (TEUNISSEN; MONTENBRUCK, 2017). O primeiro satélite Galileo foi o GIOVE-A lançado com sucesso em 2005, com aproximadamente 600 Kg, dois clocks atômicos de rubídio e vida útil de 2,3 anos. A vida útil foi estendida para o lançamento do GIOVE-B, em 2008. Possuindo uma vida útil e peso semelhante ao do GIOVE-A, o GIOVE-B possuía uma carga mais avançada e 4 clocks a bordo, dois clocks atômicos de rubídio e dois passivos de maser (dispositivo que produz ondas eletromagnéticas) de hidrogênio (um tipo diferente de clock atômico com maior estabilidade) (SUBIRANA; ZORNOZA; HERNÁNDEZ-PAJARES, 2013).

Após o lançamento dos satélites experimentais (GIOVE-A e GIOVE-B), foram lançados os dois primeiros satélites operacionais Galileo, em 2011, e foram colocados no primeiro plano orbital. No ano seguinte, em 2012, foram lançados mais dois satélites e foram colocados no segundo plano orbital. Cada satélite tem uma massa de cerca de 700 Kg e combina dois relógios de rubídio e dois masers de hidrogênio passivos com um poderoso transmissor para transmitir dados de navegação precisos (TEUNISSEN; MONTENBRUCK, 2017; SUBIRANA; ZORNOZA; HERNÁNDEZ-PAJARES, 2013).

Estima-se que até o ano de 2020, seja alcançada uma constelação com 27 satélites operacionais, incluindo os 4 satélites operacionais e os 2 satélites experimentais lançados anteriormente (TEUNISSEN; MONTENBRUCK, 2017; SUBIRANA; ZORNOZA; HERNÁNDEZ-PAJARES, 2013).

2.2.4 Beidou

Para acabar com a sua dependência do GPS, a China desenvolveu seu próprio sistema de navegação por satélite, o Beidou (ou COMPASS) (TEUNISSEN; MONTENBRUCK, 2017) tendo no ano de 2007, o seu primeiro satélite experimental lançado, chamado de Beidou-M. Em 2011, mais quatro satélites Beidou-G e cinco Beidou-IGSO foram colocados em órbita, totalizando 10 satélites Beidou em órbita (TEUNISSEN; MONTENBRUCK, 2017; SUBIRANA; ZORNOZA; HERNÁNDEZ-PAJARES, 2013).

Inicialmente, o sistema Beidou começou a fornecer um serviço operacional para a China e seus arredores. Com o passar do tempo, o número de satélites em órbita foi aumentando, totalizando em 2012 14 satélites, sendo 5 GEO (Geostationary Orbits), 4 MEO (Medium Earth Orbits) e 5 IGSO (Inclined Geosynchronous Orbits). A pretensão da China é que até o ano de 2020 a constelação seja composta por 35 satélites, sendo eles 5 GEO, 27 MEO e 3 IGSO (TEUNISSEN; MONTENBRUCK, 2017; SUBIRANA; ZORNOZA; HERNÁNDEZ-PAJARES, 2013; BEIDOU, 2012).

2.3 VARIAÇÕES DO CONTEÚDO TOTAL DE ELÉTRONS

O principal causador do atraso ionosférico é o número total de elétrons livres na camada ionosférica que é encontrado no caminho da onda eletromagnética de cada satélite GPS. A variação do TEC depende de muitas componentes, dentro delas estão alterações de longo e curto prazo no fluxo ionizante solar, atividade magnética, estação do ano, hora local, localização do receptor e direção de visualização (KLOBUCHAR, 1987). Algumas das componentes mais importantes para a variação do TEC são:

2.3.1 Variações diárias e sazonais

O ângulo de elevação do sol causa variações no número de elétrons livres da camada ionosférica, diminuindo sua densidade, o que resulta em uma maior recombinação e fazendo com que as camadas D, E e F1 desapareçam à noite enquanto a camada F2 tem seus elétrons reduzidos. A camada F2 possui um comportamento pouco previsível e não frequente, tendo a densidade máxima de TEC em períodos entre 12h00 e 16h00 (hora local). Ao longo dos dias, a variação geralmente é causada por flutuações na atividade solar e ventos termosféricos de grandes altitudes que causam variações na organização das partículas neutras que criam a ionosfera (WEBSTER, 1994).

As estações do ano também causam variações no TEC pois a radiação que atinge a camada é menos oblíqua no verão do que no inverno, ocasionando um aumento na ionização. No inverno, as camadas D e E são reduzidas, a camada F1 diurna desaparece e a camada F2

apresenta uma anomalia sazonal de latitude média, que resulta no aumento da ionização durante o dia. Essa anomalia se dá pelas mudanças nas proporções dos elementos gasosos e moléculas presentes entre as estações do ano (WEBSTER, 1994).

2.3.2 Radiação Solar

A radiação solar é a principal responsável pela formação da ionosfera e sua variação afeta diretamente a densidade eletrônica da camada ionosférica. As tempestades ionosféricas são mais comuns no período de declínio da atividade solar, causadas pelos buracos coronais que formam correntes de vento solar de alta velocidade. Corona é a aura de plasma que envolve o sol e as outras estrelas (WEBSTER, 1994).

Outro efeito causador de alterações na radiação solar são as erupções solares, ocorrendo com mais frequência durante períodos de alta atividade solar e são chamados de distúrbios repentinos. As erupções expõem energia na forma de raios X, que por sua vez pode penetrar até a região D da camada ionosférica, resultando em um aumento de até dez vezes na ionização. As manchas solares causam alterações na radiação solar. Levam esse nome pois possuem uma temperatura menor que o restante do sol e apresentam grande concentração de raios UV (WEBSTER, 1994).

2.3.3 Localização

O nível de radiação é afetado diretamente pela variação na localização, em especial na latitude, devido à variação do ângulo zenital do Sol. No inverno os pólos ficam no escuro por um período maior porque o ângulo zenital do sol diminui. As anomalias ionosféricas afetam menos as regiões de latitude média, já as regiões equatoriais normalmente possuem alta densidade eletrônica (WEBSTER, 1994).

2.3.4 Campo Magnético terrestre

O campo geomagnético pode ser aproximado por um dipolo não coincidente centralizado na terra com uma inclinação de 11° em relação ao eixo geográfico. O equador geomagnético é o plano horizontal que é perpendicular ao eixo geomagnético e que corta a terra em um grande círculo. As linhas de força geomagnética (indo dos hemisférios geomagnéticos do sul para o norte) fazem com que as partículas ionizadas na atmosfera girem em torno delas a uma taxa dependente da força do campo, da massa das partículas e de sua carga. Quando o campo magnético sofre perturbações, ocorrem modificações nas condições de transporte do

meio ionizado (WEBSTER, 1994).

2.4 CORREÇÕES IONOSFÉRICAS

Atualmente, a maior fonte de erro sistemático no posicionamento com receptores GPS de frequência simples é devido à refração ionosférica. O erro associado à refração ionosférica depende do conteúdo total de elétrons (TEC) na camada ionosférica, que por sua vez é influenciado por diversos fatores, tais como ciclo solar, época do ano, hora local, localização geográfica e atividade geomagnética, e é difícil de ser corrigido (CAMARGO, 1999). Os sinais do GPS provenientes do satélite, propagam-se nas diferentes regiões da ionosfera até chegar ao receptor. Cada uma dessas regiões possui suas características, apresentando no geral um comportamento dispersivo, afetando a modulação e a fase da portadora, ocasionando um retardo e um avanço respectivamente (LEICK; RAPOPORT; TATARNIKOV, 2015). Esses efeitos na portadora são os causadores dos atrasos ionosféricos que aumentam o comprimento do caminho percorrido pelo sinal.

A alternativa para minimizar o erro devido à ionosfera nas observáveis GPS de receptores de dupla frequência é a combinação linear (ion-free) de suas frequências L1 e L2. Já nas observáveis GPS de receptores de uma única frequência, uma alternativa é a utilização de algum modelo ionosférico (MATSUOKA; COLLISCHONN; CAMARGO, 2010), como o modelo de Klobuchar, o modelo SUPIM-DAVS utilizado pelo INPE, entre outros modelos ionosféricos, cada qual com suas características específicas.

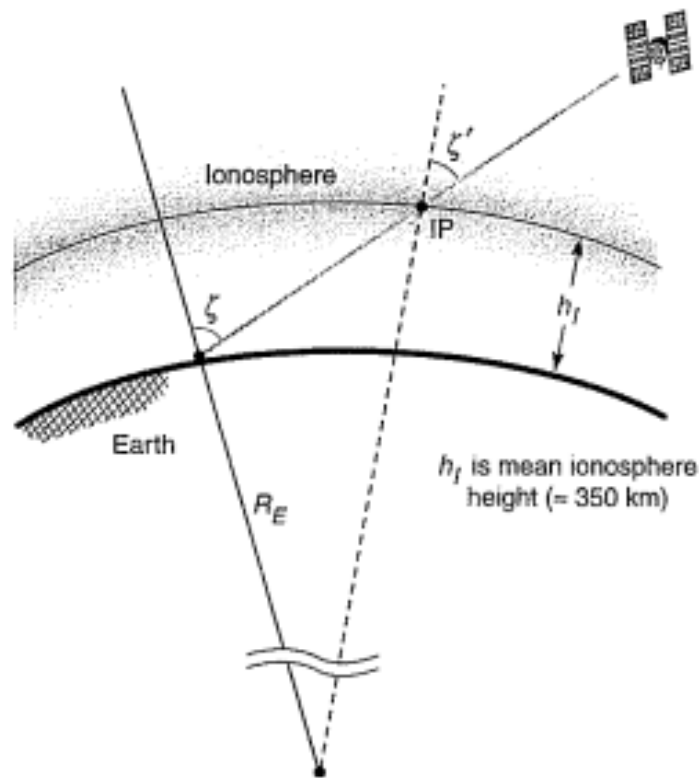
2.4.1 Combinação Linear Livre da Ionosfera - ion-free

Os receptores de dupla frequência usam o fato de que os sinais L1 e L2 experimentam diferentes atrasos de propagação na ionosfera (SEEBER, 2003) conseguindo assim, estimar o TEC compensando em até 99,9% a distorção do caminho de propagação utilizando a combinação linear livre da atmosfera (ion-free) das suas portadoras (L1 e L2) (SUBIRANA; ZORNOZA; HERNÁNDEZ-PAJARES, 2013). Esses efeitos ionosféricos podem ser de primeira, segunda e terceira ordem, sendo que o de primeira ordem corresponde a 99% dos efeitos ionosféricos e está relacionado apenas ao TEC na camada ionosférica (TEUNISSEN; MONTENBRUCK, 2017). Os efeitos de segunda ordem da ionosfera estão relacionados com a densidade máxima de elétrons nas diferentes regiões da ionosfera, enquanto que os efeitos de terceira ordem são iguais ao de primeira ordem e segunda ordem mas em função do STEC (MARQUES et al., 2014).

2.4.2 Modelos Ionosféricos

Como a correção dos efeitos ionosféricos de primeira ordem dependem apenas do TEC e o termo de correção depende apenas da integral da densidade de elétrons ao longo do caminho do raio (STEC), um modelo 2D do VTEC pode ser suficiente para compensar essa distorção em muitas aplicações. Para isso, o VTEC deve ser usado para se obter uma estimativa para o STEC (TEUNISSEN; MONTENBRUCK, 2017). Essa estimativa acontece no IPP (ponto onde o sinal fura a ionosfera, considerada concentrada em uma casca esférica na faixa de 300-400 km de altitude) como indicado na Figura 2.3 (MISRA; ENGE, 2006).

Figura 2.3 – Caminho de propagação de um sinal de satélite para o receptor.



Fonte: (MISRA; ENGE, 2006).

O TEC estimado pode ser calculado pela equação:

$$VTEC = TEC(\zeta) \times \cos(\zeta')$$

onde ζ representa o ângulo zenital (elevação do satélite) e $\cos(\zeta')$ representa a função de mapeamento.

A função é expressa pela equação:

$$\cos(\zeta') = \left[1 - \left(\frac{R_E \times \cos(\zeta)}{R_E + h_I} \right)^2 \right]^{-1/2}$$

onde R_E é o raio da terra, ζ é o ângulo zenital e h_I é a altitude de perfuração ionosférica.

Ao utilizar modelos ionosféricos para correções ionosféricas em receptores de frequência simples, a qualidade da correção depende da qualidade do modelo ionosférico utilizado, ou seja, a qualidade da correção depende da função de mapeamento aplicada pelo modelo. Muitos usuários de dispositivos GPS de frequência simples utilizam modelos de TEC, como por exemplo o modelo de Klobuchar, o modelo NeQuick, utilizado por usuários de dispositivos Galileo, dentre outros modelos (TEUNISSEN; MONTENBRUCK, 2017).

2.4.2.1 *NeQuick*

O NeQuick é um modelo da plasmosfera/ionosfera utilizado por receptores Galileo de frequência simples. O modelo foi desenvolvido pelo Centro Internacional de Física Teórica (ICTP), da Itália, em conjunto com Universidade de Graz, na Áustria. O NeQuick modela apenas a densidade de elétrons (em função da posição e do tempo), sendo adaptado para integrar numericamente a densidade de elétrons ao longo de qualquer caminho de raios receptor de satélite GNSS para calcular o TEC em escala global (TEUNISSEN; MONTENBRUCK, 2017; SUBIRANA; ZORNOZA; HERNÁNDEZ-PAJARES, 2013).

O modelo NeQuick não pode ser avaliado neste projeto por ser incompatível com o software de análise de pós-processamento utilizados, RTKPost e TNX2RTKP, presentes no RTKLib.

2.4.2.2 *Modelo de Klobuchar*

O Modelo de Klobuchar consiste em um algoritmo empírico com equações capazes de reduzir o erro ionosférico em sistemas de posicionamento global de frequência simples (L1). O objetivo do algoritmo é incluir os principais elementos para descrever com uma maior veracidade o comportamento complexo da ionosfera. Visando um mínimo de coeficientes possíveis e um menor tempo computacional para o usuário, o algoritmo faz uso de oito coeficientes que são transmitidos nas efemérides dos satélites GPS como parte da mensagem para efetuar a correção (KLOBUCHAR, 1987).

Também designado de modelo Broadcast o algoritmo consegue produzir uma correção de pelo menos 50% (KLOBUCHAR, 1987). Por isso, faz-se necessário dispor de uma estratégia mais efetiva de eliminar os efeitos da ionosfera, a qual tem sido investigada a partir do uso de modelos regionais para a ionosfera, que representam com maior eficácia o comportamento da ionosfera da região de estudo. As mensagens de navegação fornecem a latitude e longitude do usuário, o azimute, o ângulo de elevação e os coeficientes de Klobuchar e necessários para

efetuar os cálculos que podem ser encontrados em (SUBIRANA; ZORNOZA; HERNÁNDEZ-PAJARES, 2013).

2.4.2.3 SUPIM-DAVS

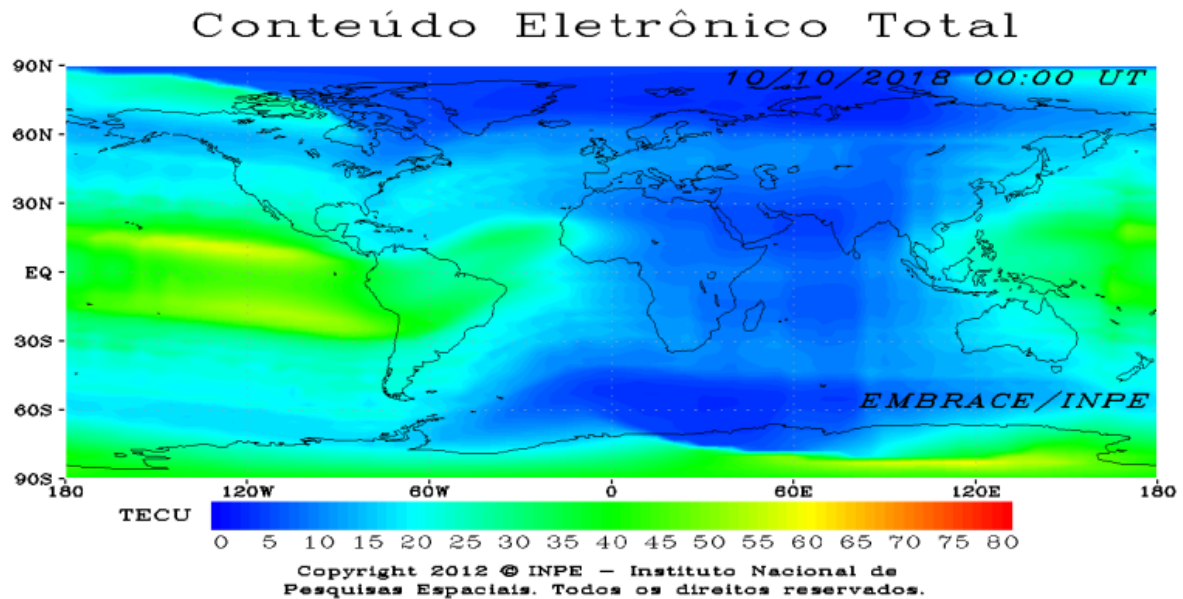
SUPIM-DAVS é um modelo físico da ionosfera e plasmosfera da Terra que tem sido desenvolvido nas últimas três décadas (PETRY JONAS RODRIGUES DE SOUZA, 2014; PETRY; SOUZA; VELHO, ; BAILEY; SELLEK, 1990; BAILEY; BALAN, ; BAILEY; BALAN; SU, 1997). No modelo, as equações da continuidade, movimento e do equilíbrio de energia, dependentes do tempo e são resolvidas ao longo das linhas de campo magnético fechadas para calcular os valores das densidades, fluxos e temperaturas dos elétrons e dos íons O_+ , H_+ , He_+ , N_2^{++} , O_2^{++} e NO_+ . O SUPIM-DAVS inclui uma representação do campo magnético da Terra que é um dipolo excêntrico (BAILEY; SELLEK; RIPPETH, 1993), porém a excentricidade faz o sistema de coordenada magnética ser diferente do geográfico. Os principais processos físicos e químicos do modelo são: produção de íons devido à radiação solar EUV, produções e perdas dos íons devido às reações químicas entre os constituintes ionizados e neutros, difusões ambipolar e térmica, colisões íon-íon e íon-partícula neutra, ventos termosféricos, deriva eletromagnética (ExB), condução térmica, aquecimento fotoelétrico, aquecimento friccional e um grande número de aquecimentos locais e mecanismos de esfriamento (BAILEY; BALAN; SU, 1997).

O modelo ionosférico SUPIM-DAVS, utilizado pelo INPE, descreve a distribuição da ionização na terra para períodos geomagneticamente calmos. As saídas do modelo são dadas em um plano bidimensional alinhado às linhas de campo magnético da Terra, com coordenadas magnéticas. Durante a execução do sistema, são feitas múltiplas simulações em diferentes longitudes equidistantes. Utiliza-se uma técnica de busca de vizinhos para obter os valores de concentração eletrônica em uma grade regularmente espaçada, usando interpolação ponderada pelo inverso da distância (IDW). Uma grade tridimensional contendo as concentrações eletrônicas é gerada para cada hora do dia simulado e a partir dessa grade o VTEC é calculado pela integração em altitude, sendo mostrado em um mapa bidimensional (Figura 2.4). Esse processo é executado todos os dias e prevê os valores de VTEC para a região da América do Sul com quase 24 horas de antecedência (PETRY et al., 2014).

2.4.2.4 IGS

Outro modelo ionosférico é o GIM (Global Ionospheric Maps Mapas Globais da Ionosfera) fornecido pelo IGS (International GNSS Service). O modelo GIM começou a ser produzido em 1998, contendo valores de VTEC obtidos pela sua rede de receptores (MATSUOKA;

Figura 2.4 – Exemplo de mapa gerado pelo modelo SUPIM-DAVS



Fonte: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

COLLISCHONN; CAMARGO, 2010), que posteriormente são convertidos para valores TEC na direção satélite/receptor utilizando-se uma função de mapeamento (CAMARGO, 1999). Os mapas fornecem valores de VTEC em um grid com resolução espacial de $5^\circ \times 2.5^\circ$ em longitude e latitude, respectivamente, e resolução temporal de 2 horas (SCHAER; GÉODÉSIQUE, 1999; MATSUOKA; COLLISCHONN; CAMARGO, 2010).

Os mapas TEC do IGS são gerados, todos os dias, por quatro centros de análise (CODE - Centro de Determinação de Órbitas na Europa, ESA - Agência Espacial Europeia, JPL - Laboratório Global de Propulsão a Jato, UPC - Catalunha-Barcelona Tech) diferentes entre si em relação às estratégias utilizadas. Porém, todos os centros de análise utilizam os dados das estações GNSS ativas do IGS, originando assim quatro arquivos IONEX (Ionosphere Exchange) que no final são combinados para gerar apenas um arquivo IONEX (mapa final). Todos os mapas (IONEX) são disponibilizados pelo IGS, com acesso livre, no endereço: <ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/gnss/products/ionex/> (SCHAER; GÉODÉSIQUE, 1999; MATSUOKA; COLLISCHONN; CAMARGO, 2010).

2.5 ANÁLISE DE PÓS-PROCESSAMENTO

O pós-processamento, assim como o processamento em tempo real, é um método de posicionamento que faz a coleta de dados dos receptores simultaneamente. A principal diferença entre o pós-processamento e o processamento em tempo real é que os dados de posicionamento

não são fornecidos em tempo real, fazendo necessário utilização de um arquivo RINEX (Receiver Independent Exchange Format) para efetuar o seu processamento. O formato RINEX é um formato de intercâmbio de dados para dados brutos de estações de posicionamento por satélite que permite que o usuário pós-processe os dados recebidos para produzir um resultado mais preciso, disponível em (RINEX-WIKIPEDIA, 2019).

Existem alguns softwares para análise de pós-processamento de dados de receptores GNSS, cada qual com suas características específicas mas todos com o mesmo fim. O software escolhido para a análise de pós-processamento foi o RTKPost, presente na biblioteca RTK (TAKASU, 2007). O RTKLib é um pacote de programas de código aberto para posicionamento padrão e preciso com o GNSS (sistema global de navegação por satélite). O RTKLIB consiste em uma biblioteca de programas portáteis e vários APs (programas aplicativos) que possuem as características (TAKASU, 2013):

- Suporta algoritmos de posicionamento padrão e preciso: GPS, GLONASS, Galileo, QZSS, BeiDou e SBAS;
- Suporta vários modos de posicionamento GNSS, tanto para processamento em tempo real quanto para pós-processamento.
- Suporta muitos formatos e protocolos padrão para GNSS.
- Suporta várias mensagens proprietárias de receptores GNSS.
- Suporta comunicação externa via: Serial, TCP/IP, NTRIP, arquivo de log local (gravação e reprodução) e FTP/HTTP (download automático).
- Fornece muitas funções de biblioteca e APIs (interfaces de programa de aplicativo): funções de satélites e sistemas de navegação, matriciais e vetoriais, de tempo e string, transformação de coordenadas, funções de entrada e saída, de rastreamento de depuração, funções dependentes da plataforma, modelos de posicionamento, modelos de atmosfera, modelos de antena, modelos geoidais, transformação de dados, funções RINEX, efemérides e funções de relógio, efemérides precisas e funções de relógio, funções de dados brutos do receptor, funções RTCM, funções de solução, conversor KML do Google Earth, funções SBAS, funções de entrada e saída de dados de fluxo, resolução de ambiguidade total, posicionamento preciso, posicionamento pós-processamento, funções de servidor de fluxo, funções de servidor RTK, funções de download.
- As aplicações presentes no RTKLib são mostradas na Tabela 2.2:

As aplicações da biblioteca RTK são separadas em GUI (Interface Gráfica de Usuário) e CUI (Interface de Caracteres de Usuário) (TAKASU, 2013). GUI é uma interface gráfica de usuário que interage com aplicativos, possuindo imagens, ícones e elementos que facilitam a navegação e seu uso. Nas aplicações CUI o usuário tem que interagir com os aplicativos

Tabela 2.2 – Aplicações RTKLib

Função	GUI AP	CUI AP
AP Launcher	RTKLAUNCH	
RealTime Positioning	RTKNAVI	RTKRCV
Communication Server	STRSVR	STR2STR
PostProcessing Analysis	RTKPOST	RNX2RTKP
RINEX Converter	RTKCONV	CONVBIN
Plot Solutions and Observation Data	RTKPLOT	
Downloader for GNSS Products and Data	RTKGET	
NTRIP Browser	SRCTBLBROWS	

Fonte: Adaptado de (TAKASU, 2013).

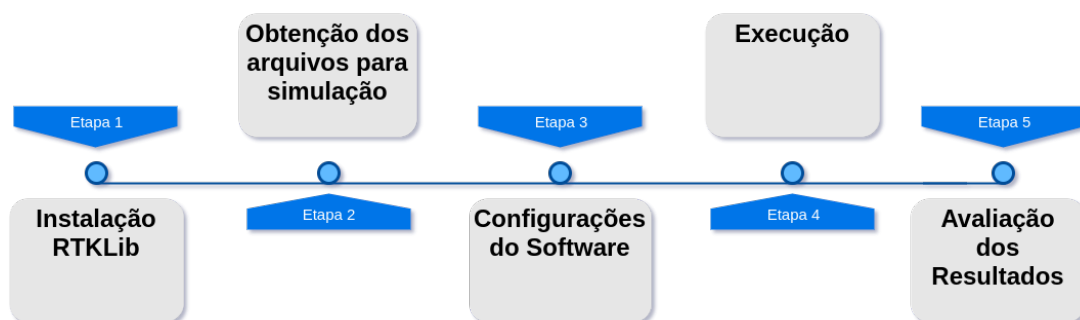
através de comandos. Apesar de possuir uma navegação e operação mais complicada que as aplicações GUI, as aplicações CUI apresentam melhores resultados, assim como a possibilidade de execuções paralelas com maior facilidade.

3 METODOLOGIA

Nesta seção são detalhadas as etapas necessárias para efetuar a comparação dos diferentes métodos de correções do erro ionosférico em receptores GNSS, mais especificamente no sistema GPS. A abordagem utilizada foi dividida em cinco etapas como indicado na Figura 3.1. A primeira etapa consiste na instalação da biblioteca do RTK por linha de comando, para utilização das aplicações CUI (aplicações GUI não necessitam de instalação). A segunda etapa consiste na obtenção de todos os arquivos necessários para executar a análise de pós-processamento de um dia específico referente a cada um dos meses do ano de 2018, utilizando a aplicação RTKPost. A escolha dos dias foi feita de forma que abrangesse a variação sazonal durante um ano inteiro, levando em conta a limitação referente ao tempo da simulação ionosférica do INPE, que pode requerer várias horas para efetuar uma simulação global. Assim, foi escolhido o dia 10 de cada mês, gerando um total de 12 dias analisados, distribuídos ao longo do ano de 2018.

A próxima etapa é a carga dos arquivos no RTKPost e a configuração do mesmo para cada um dos 4 casos de correção ionosférica: ion-free (dupla frequência), correção pelo TEC do SUPIM-DAVS (INPE), correção pelo TEC do GIM (IGS) e correção de Klobuchar. A quinta e última etapa é a criação de um algoritmo capaz de avaliar corretamente os resultados obtidos nas simulações do RTKPost utilizando os diferentes tipos de correção do erro ionosférico.

Figura 3.1 – Diagrama das etapas realizadas para o projeto



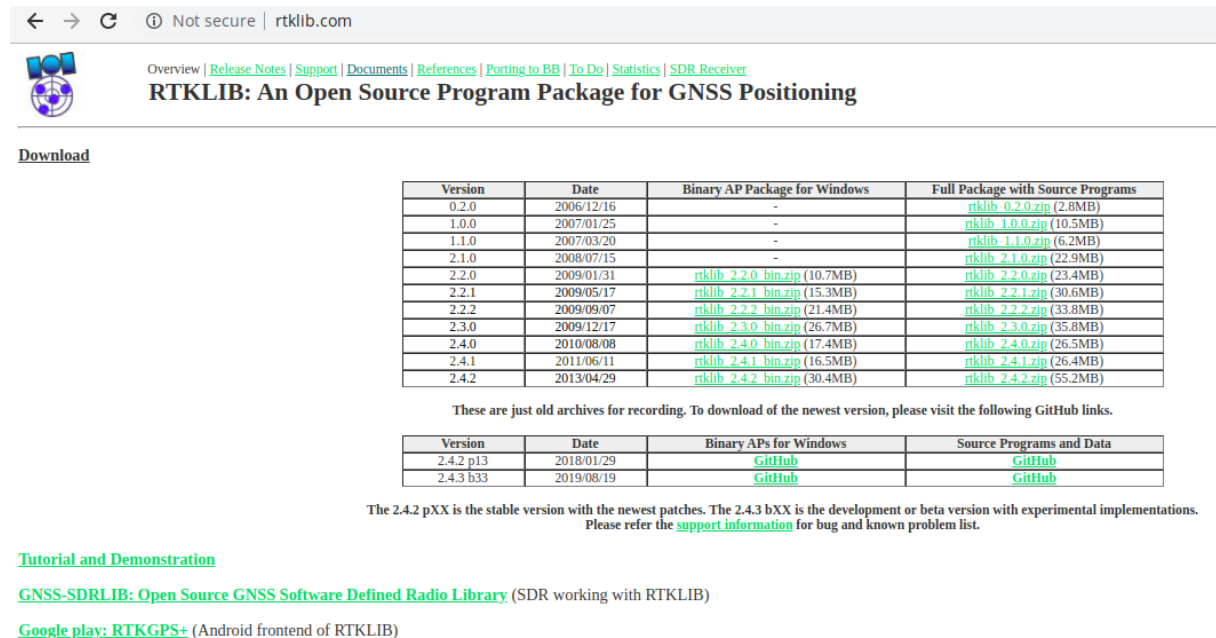
Fonte: Autor.

3.1 ETAPA 1: INSTALAÇÃO DO RTKLIB

Por ser um pacote de programas de código aberto, o RTKLib pode ser encontrado no site: <<http://www.rtklib.com/>>. A versão mais atual do programa (2.43 b33 de agosto de 2019) está em versão de testes, sendo atualizada esporadicamente para correções de erros e adição de funções. O site fornece opção de baixar somente as aplicações GUI (para sistemas Windows),

a opção com o código fonte das aplicações e dados, assim como manuais, exemplos e simulações, entre outros arquivos (Figura 3.2). Para efetuar a instalação, utilizou-se a distribuição

Figura 3.2 – Site do RTKLib.



Download

Version	Date	Binary AP Package for Windows	Full Package with Source Programs
0.2.0	2006/12/16	-	rtklib_0.2.0.zip (2.8MB)
1.0.0	2007/01/25	-	rtklib_1.0.0.zip (10.5MB)
1.1.0	2007/03/20	-	rtklib_1.1.0.zip (6.2MB)
2.1.0	2008/07/15	-	rtklib_2.1.0.zip (22.9MB)
2.2.0	2009/01/31	rtklib_2.2.0_bin.zip (10.7MB)	rtklib_2.2.0.zip (23.4MB)
2.2.1	2009/05/17	rtklib_2.2.1_bin.zip (15.3MB)	rtklib_2.2.1.zip (30.6MB)
2.2.2	2009/09/07	rtklib_2.2.2_bin.zip (21.4MB)	rtklib_2.2.2.zip (33.8MB)
2.3.0	2009/12/17	rtklib_2.3.0_bin.zip (26.7MB)	rtklib_2.3.0.zip (35.8MB)
2.4.0	2010/08/08	rtklib_2.4.0_bin.zip (17.4MB)	rtklib_2.4.0.zip (26.5MB)
2.4.1	2011/06/11	rtklib_2.4.1_bin.zip (16.5MB)	rtklib_2.4.1.zip (26.4MB)
2.4.2	2013/04/29	rtklib_2.4.2_bin.zip (30.4MB)	rtklib_2.4.2.zip (55.2MB)

These are just old archives for recording. To download of the newest version, please visit the following GitHub links.

Version	Date	Binary APs for Windows	Source Programs and Data
2.4.2 p13	2018/01/29	GitHub	GitHub
2.4.3 b33	2019/08/19	GitHub	GitHub

The 2.4.2 pXX is the stable version with the newest patches. The 2.4.3 bXX is the development or beta version with experimental implementations. Please refer the [support information](#) for bug and known problem list.

[Tutorial and Demonstration](#)

[GNSS-SDRLIB: Open Source GNSS Software Defined Radio Library](#) (SDR working with RTKLIB)

[Google play: RTKGPS+](#) (Android frontend of RTKLIB)

Fonte: Adaptação de (TAKASU, 2007).

Linux Elementary OS 5.0, baseada no Ubuntu 18.04.2LTS. O comando utilizado para efetuar a instalação do RTKLib e utilizar suas aplicações CUI pode ser visto na Figura 3.3. O comando pode variar dependendo da distribuição utilizada.

Figura 3.3 – Instalação do RTKLib no Elementary OS

```
root@PC:~# sudo apt install rtklib
Reading package lists... Done
Building dependency tree
Reading state information... Done
The following NEW packages will be installed:
  rtklib
0 upgraded, 1 newly installed, 0 to remove and 0 not upgraded.
Need to get 930 kB of archives.
After this operation, 5.220 kB of additional disk space will be used.
Get:1 http://br.archive.ubuntu.com/ubuntu bionic/universe amd64 rtklib amd64 2.4.3+dfsg1-1 [930 kB]
Fetched 930 kB in 56s (16,6 kB/s)
Selecting previously unselected package rtklib.
(Reading database ... 179432 files and directories currently installed.)
Preparing to unpack .../rtklib_2.4.3+dfsg1-1_amd64.deb ...
Unpacking rtklib (2.4.3+dfsg1-1) ...
Setting up rtklib (2.4.3+dfsg1-1) ...
Processing triggers for man-db (2.8.3-2ubuntu0.1) ...
```

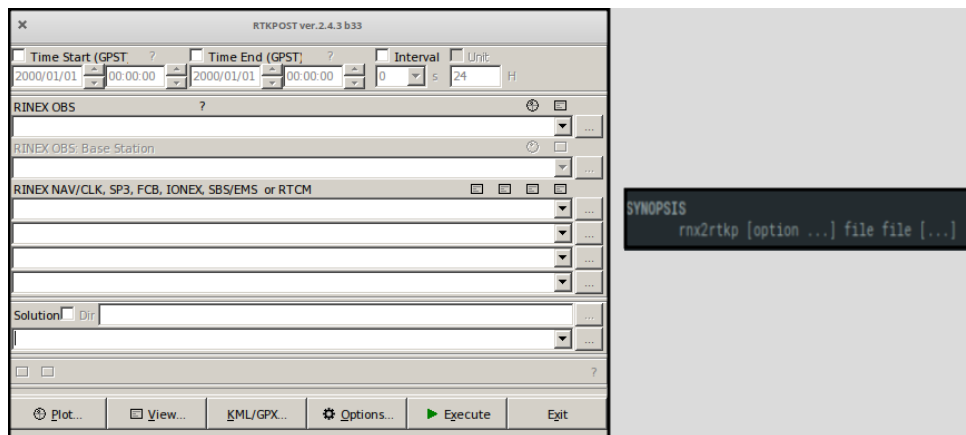
Fonte: Autor.

3.2 ETAPA 2: OBTENÇÃO DOS ARQUIVOS

Duas aplicações presentes no RTKLib possuem foco em análise de pós-processamento: o RTKPost e o RNX2RTKP. O RTKPost é uma aplicação GUI (para sistemas Windows) que utiliza arquivos RINEX de observação e de navegação para muitos sistemas de posicionamento, incluindo o GPS, GLONASS, Galileo e BeiDou, calculando soluções de posicionamentos em diversos modos, incluindo PPP (TAKASU, 2013). O RTKPost possui uma interface gráfica bem intuitiva, com imagens, botões e elementos utilizados para facilitar sua usabilidade.

O RNX2RTKP é a versão em console do RTKPost. É uma aplicação CUI com as mesmas funcionalidades e dependências de arquivos que o RTKPost, com a diferença de não possuir interface gráfica, mas possuindo as vantagens de aplicações CUI. A aplicação Gráfica (lado esquerdo) e a aplicação CUI (lado direito) são mostradas na Figura 3.4.

Figura 3.4 – RTKPost e RNX2RTKP



Fonte: Adaptado de (TAKASU, 2007)

Os arquivos necessários para execução do RTKPost/RNX2RTKP estão disponíveis no site do IGS com link direto para o CDDIS (The Crustal Dynamics Data Information System ou Sistema de Informação de Dados da Dinâmica Crustal) da NASA (Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço). Os arquivos necessários para as correções são: RINEX de Observação, RINEX de Navegação, Antena, IONEX (quando necessário), Correções de Clock e Órbita dos Satélites. Para efetuar a busca desses arquivos no site IGS foi necessário obter o dia juliano e a semana gps dos dias escolhidos para a simulação. A semana GPS teve início em 6 de janeiro de 1980 (semana 0), às 00h00, começando sempre na transição de sábado para domingo. Sistemas gps também possuem a semana modular, que é transmitida pelo GPS tendo intervalo de 0 à 1023 (aproximadamente 20 anos), tendo sua mais recente inicialização em 7 de abril de 2019, às 00h00. Ao final do intervalo o contador retorna novamente para zero (rollover) e o software que não estiver codificado para antecipar o retorno para zero pode parar de funcionar ou pode voltar no tempo em 20 ou 40 anos (TEUNISSEN; MONTENBRUCK, 2017; ROLLOVERGPS-WIKIPEDIA, 2013). A tabela 3.1 mostra as datas e correspondentes dias juliano e semana GPS para os dias avaliados.

Tabela 3.1 – Datas e conversões para download dos arquivos

Data	Juliano	Semana (GPS)
10.01.2018	010	1983
10.02.2018	041	1987
10.03.2018	069	1991
10.04.2018	100	1996
10.05.2018	130	2000
10.06.2018	161	2005
10.07.2018	191	2009
10.08.2018	222	2013
10.09.2018	253	2018
10.10.2018	283	2022
10.11.2018	314	2026
10.12.2018	344	2031

Fonte: Autor.

O site <<https://www.labsat.co.uk/index.php/en/gps-time-calculator>> foi utilizado para obter os arquivos usados para possibilitar as avaliações:

- **Orbita dos Satélites (.sp3):** esses arquivos são importantes pois o movimento do satélite girando ao redor da Terra tem uma força associada a ele que o empurra para longe da Terra. Para cada órbita, há uma velocidade para a qual a gravidade e a força centrífuga se equilibram e o satélite permanece em uma órbita estável. É necessário verificar cada arquivo para ver se o arquivo corresponde ao dia que será simulado, como indica a Figura 3.5. Os arquivos escolhidos que continham os dias escolhidos para a simulação foram os arquivos IGR (órbitas rápidas) e podem ser acessados no site: <<ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/gnss/products/>"Semana(GPS)"> (CDDIS, 2019).
- **Correções de Clock (.clk):** após efetuar o download dos arquivos das Órbitas, efetua-se no mesmo site o download do arquivo de clock, semelhante ao arquivo de Órbitas mudando apenas a extensão de .sp3 para .clk. Os arquivos de correções de clock contém soluções para erros de sincronismo de clock, referentes à escala de tempo do GNSS (GPS, GLO-NASS, Galileo e outros). Uma lista com nomes de estações espalhadas pelo mundo que utilizam a Correção de Clock, está contida no arquivo .clk (CDDIS, 2019). As estações foram filtradas com base na informação contida no arquivos de clock, restando apenas as estações disponíveis com os arquivos.
- **Rinex de Observação (.YYo):** os arquivos de todas as estações encontradas nos arquivos de Correção de Clock (.clk) foram baixados (100 estações selecionadas). O formato RINEX consiste de arquivo-texto para os dados de observação, mensagem de navegação e dados meteorológicos, referindo-se a um determinado dia e estação receptora, contendo um cabeçalho para informações gerais e uma seção de dados. A seção de dados conta com as pseudo-distâncias de código (metros), fase (ciclos inteiros) e instante de observação

Figura 3.5 – Verificação do dia escolhido no arquivos de Órbitas dos Satélites

+	x	igr19833.sp3											
1	#cP2018	1-10-0	0	0.00000000	96	ORBIT	IGS14	HLM	IGS				
2	##	1983	259200.00000000	900.00000000	58128	0.000000000000							
3	+	32	G01G02G03G04G05G06G07G08G09G10G11G12G13G14G15G16G17										
4	+		G18G19G20G21G22G23G24G25G26G27G28G29G30G31G32	0	0								
5	+		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	+		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	+		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	++		2	2	2	0	2	2	2	2	2	2	2
9	++		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
10	++		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	++		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	++		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	%c	G	cc	GPS	ccc	cccc	cccc	cccc	cccc	cccc	cccc	cccc	cccc
14	%c	cc	cc	ccc	ccc	cccc	cccc	cccc	cccc	cccc	cccc	cccc	cccc
15	%f		1.2500000	1.025000000	0.0000000000	0.000000000000	0.000000000000	0.000000000000	0.000000000000	0.000000000000	0.000000000000	0.000000000000	0.000000000000
16	%f		0.0000000	0.000000000	0.0000000000	0.000000000000	0.000000000000	0.000000000000	0.000000000000	0.000000000000	0.000000000000	0.000000000000	0.000000000000
17	%i		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	%i		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	/* RAPID ORBIT COMBINATION FROM WEIGHTED AVERAGE OF:												
20	/* cod emr esa gfz jpl ngs sio usn whu												
21	/* REFERENCED TO IGS TIME (IGST) AND TO WEIGHTED MEAN POLE:												
22	/* PCV:IGS14_1977 OL/AL:FES2004 NONE Y ORB:CMB CLK:CMB												
23	*	2018	1-10-0	0	0.00000000								

Fonte: Autor.

(hora GPS) registrada de acordo com o relógio do receptor. O Link para download dos RINEX de Observações é <ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/gnss/data/daily/YYYY/DDD/YYo/> onde YYYY e YY são representações do ano e DDD do dia juliano (CDDIS, 2019).

- RINEX de Navegação (.YYn) - efemérides de transmissão (broadcast): os arquivos RINEX de Navegação ou Broadcast Ephemerides (Efemérides de Transmissão) contêm informações de posição, velocidade e relógio para todos os satélites da constelação de GPS para cada dia. Os RINEX contêm todas as mensagens de transmissão necessárias para o pós-processamento. As efemérides de transmissão podem ser acessadas através do link: <<ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/gnss/data/daily/YYYY/DDD/YYn/brdcDDD0.YYn.Z>> (CDDIS, 2019).
- Antena (.atx): os arquivos para calibração de antena para o sistema global de navegação por satélite (GNSS) estão no formato ANTEX (.atx) (IGS, 2019) tendo como objetivo correções absolutas do centro de fase (PCVs). O centro da fase é definido como a fonte aparente de radiação dependendo do ângulo de elevação, azimute e da frequência do sinal. O nome do arquivo de Correção de Antena utilizado para análise de pós-processamento de um dia específico pode ser encontrado no arquivo de clock (.clk) e esses arquivos de antena podem ser encontrados em: <ftp://ftp.igs.org/pub/station/general/pcv_archive/>.
- IONEX - Mapas de TEC (.YYi): Arquivos IONEX contêm mapas de conteúdo total de elétrons vertical da ionosfera (VTEC) e valores diários de polarização do código diferencial de satélite GNSS (DCB) derivados dos dados do GNSS de dupla frequência. Esses

Figura 3.6 – Verificação do arquivo de Antena

+	x	igr19833.clik															
166	G01	G02	G03	G05	G06	G07	G08	G09	G10	G11	G12	G13	G14	G15	G16	PRN	LIST
167	G17	G18	G19	G20	G21	G22	G23	G24	G25	G26	G27	G28	G29	G30	G31	PRN	LIST
168	G32															PRN	LIST
169	G															SYS / PCVS APPLIED	
170																	END OF HEADER
171	AR	GPST	2018	01	10	00	00	0.000000	2	-6.600484788507e-09	0.000000000000e+00						
172	AR	ABMF	2018	01	10	00	00	0.000000	2	2.554838786609e-08	1.113792703100e-11						
173	AR	ADIS	2018	01	10	00	00	0.000000	2	-2.933009095700e-04	6.621792498140e-12						
174	AR	ALBH	2018	01	10	00	00	0.000000	2	-2.275178436348e-04	1.198277812830e-11						
175	AR	ALGO	2018	01	10	00	00	0.000000	2	-7.740806889439e-06	2.207004198970e-11						
176	AR	ALIC	2018	01	10	00	00	0.000000	2	2.681524390549e-08	2.946144433670e-11						
177	AR	ALRT	2018	01	10	00	00	0.000000	2	-4.422341597811e-08	4.315339474120e-11						
178	AR	ANKR	2018	01	10	00	00	0.000000	2	-1.118517217107e-09	6.915647631840e-12						
179	AR	AREQ	2018	01	10	00	00	0.000000	2	-2.004850059198e-04	2.539674361870e-11						
180	AR	ARTU	2018	01	10	00	00	0.000000	2	-7.938205521491e-08	1.765031281610e-11						
181	AR	BJFS	2018	01	10	00	00	0.000000	2	-3.209282046171e-08	3.872337339200e-11						
182	AR	BOGT	2018	01	10	00	00	0.000000	2	3.161204241133e-09	1.537046962360e-11						
183	AR	BOR1	2018	01	10	00	00	0.000000	2	-3.601958801751e-08	7.142619953540e-12						
184	AR	BRMU	2018	01	10	00	00	0.000000	2	-1.040089363251e-08	2.450473689360e-11						
185	AR	BRUX	2018	01	10	00	00	0.000000	2	1.458098917035e-07	2.004022442660e-11						
186	AR	CAS1	2018	01	10	00	00	0.000000	2	-3.732095067991e-08	6.010354180160e-12						
187	AR	CEBR	2018	01	10	00	00	0.000000	2	4.004714210342e-04	7.189227083590e-12						
188	AR	CEDU	2018	01	10	00	00	0.000000	2	2.713548873942e-04	2.434424064450e-11						
189	AR	CHAN	2018	01	10	00	00	0.000000	2	4.473757002912e-04	1.105777750860e-11						

Fonte: Autor.

mapas são gerados diariamente e serão utilizados arquivos IONEX gerados pela simulação ionosférica do INPE que é baseada no modelo SUPIM-DAVS e pelo IGS que é baseado na combinação de modelos (GIM) e pode ser acessado em: <ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/gnss/products/ionex/YYYY/DDD/igsgDDD0.YYi.Z> (CDDIS, 2019).

Após efetuar o download e organização de todos os arquivos necessários para a análise de pós-processamento (Figura 3.7) dos dias escolhidos e mostrados na Tabela 3.1, o próximo passo é a configuração da aplicação presente no RTKLib.

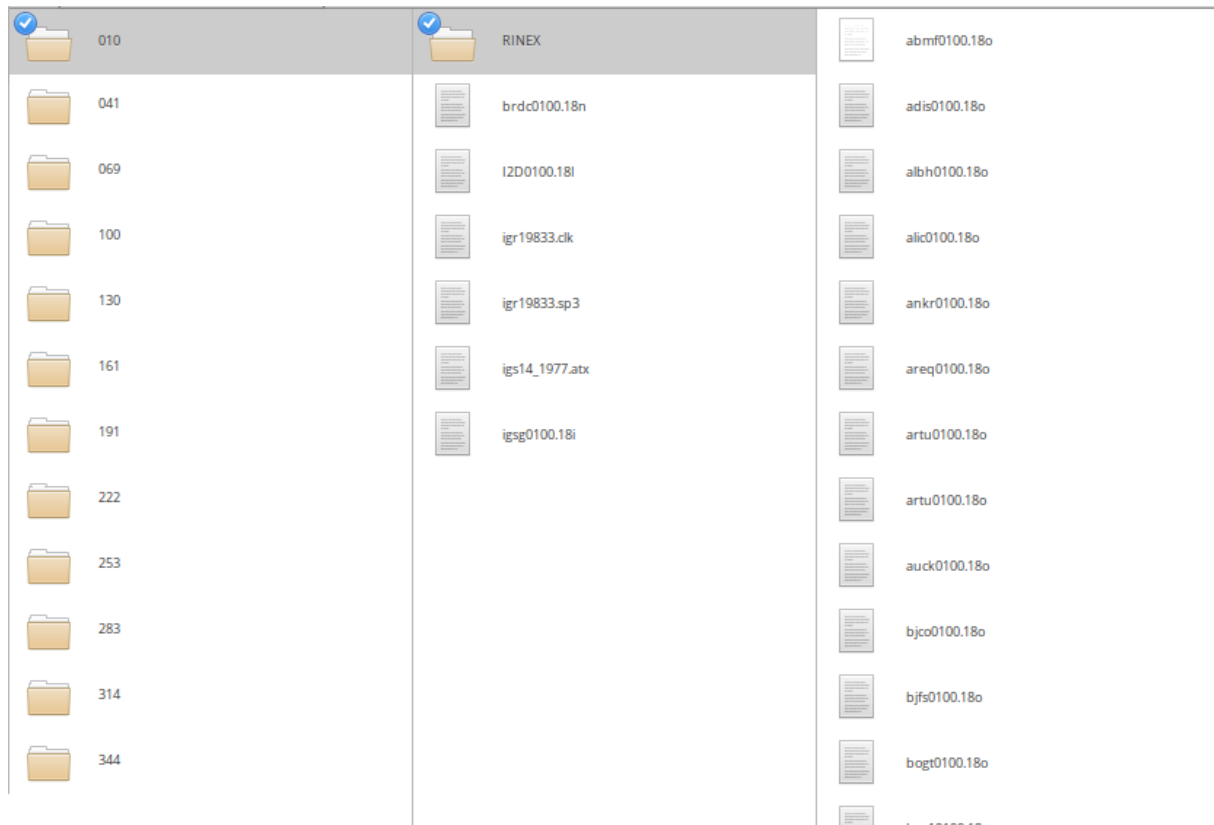
3.3 ETAPA 3 - CONFIGURAÇÃO DO SOFTWARE

Tanto o RTKPost quando o RNX2RTKP utilizam os mesmos arquivos da etapa anterior para efetuar suas configurações. Por possuírem muitas opções e diversas combinações para análise de pós-processamento, em um primeiro momento optou-se por efetuar as configurações na aplicação RTKPost, visto que a mesma é uma aplicação GUI e possui interface gráfica com maior intuitividade, favorecendo a compreensão.

Foi feita a análise de três configurações, a fim de avaliar as correções ionosféricas em receptores GPS de frequência simples em comparação com correções ionosféricas em receptores de dupla frequência. Foram utilizados conjuntos de configuração para correções ion-free (dupla frequência), Broadcast (modelo de Klobuchar) e IONEX TEC (modelos SUPIM-DAVS e GIM).

Na Figura 3.8 ficam visíveis as diferenças entre as configurações de cada uma das correções, mudando apenas os campos referentes ao número de frequências usadas (simples ou dupla) e o campo da correção ionosférica. À esquerda da Figura 3.8 estão representadas as

Figura 3.7 – Arquivos referentes ao dia 010 (10.01.2018)



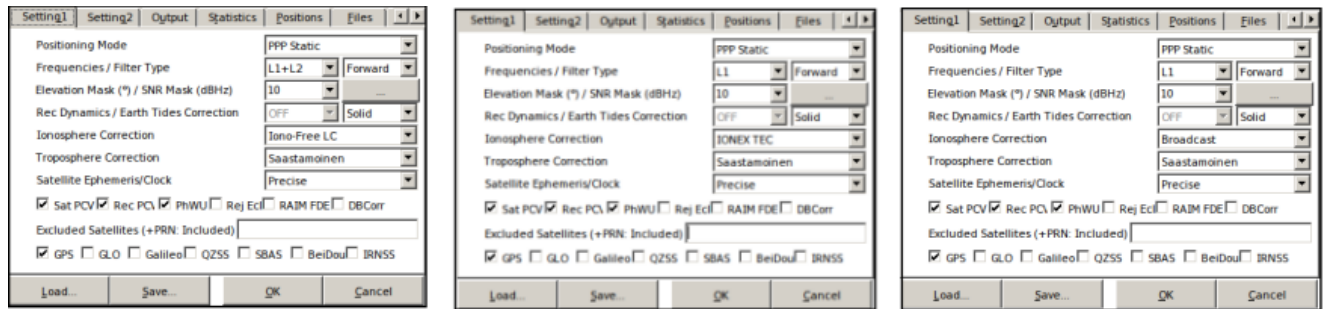
Fonte: Autor.

configurações utilizadas para execução utilizando dupla frequência, no centro utilizando a correção através de arquivos de mapas TEC no formato IONEX (SUPIM-DAVS ou IGS) e à direita encontra-se as configurações utilizadas para o modelo de Klobuchar. As configurações do RTK-Post são separadas por abas, cada qual com sua função específica.

A aba *Setting1* é uma das mais importantes dentre as configurações, podendo ser definido o número de frequências, o modo de posicionamentos, a máscara de elevação, SNR (Relação Sinal-Ruído), correções ionosféricas, troposféricas e das marés terrestres, o(s) sistema(s) de navegação GNSS, dentre outras configurações. As configurações utilizadas para a avaliação das correções foram:

- **Positioning Mode (Modo de Posicionamento):** Os receptores GNSS possuem diferentes modos de posicionamento e de navegação, onde cada modo possui seu grau de complexidade, precisão e exatidão. O PPP (Posicionamento de Ponto Preciso) é uma evolução do modo de posicionamento de um único ponto (SPP), tem como característica estimar órbitas e clocks de satélites através de uma rede de estações GNSS de referência distribuídas em todo o globo, porém apenas uma única estação é processada por vez (TEUNISSEN; MONTENBRUCK, 2017; SEEGER, 2003). A principal diferença entre o modo estático (static) e o cinemático (kinematic) é que no primeiro as coordenadas são ajustadas para todo o intervalo de observação, enquanto no segundo o ajuste é por época.

Figura 3.8 – Configurações RTKPost: Dupla Frequência (esquerda), arquivo IONEX (centro), e Klobuchar (direita)



Fonte: Autor.

- Frequencies/Filter Type (Frequências e tipo de filtro): Frequência simples (L1) são utilizadas para sistemas GPS de apenas uma frequência e frequência dupla (L1+L2) para sistemas GPS de frequência dupla. O filtro no modo forward, os dados de observação são processados começando no início dos dados e continuando até o fim.
- Elevation Mask/SNR Mask (Máscara de Elevação/Máscara Relação Sinal Ruído): Os satélites serão excluídos se estiverem abaixo de um determinado ângulo de elevação ou com baixa relação sinal ruído (SNR).
- Rec Dynamics/Earth Tides Correction (Rec Dinâmico/Correção das Marés da Terra): O Rec Dinâmico só é ligado quando há a utilização de Rover (veículo de exploração espacial), e no caso esse posicionamento dinâmico foi desligado. A maré da Terra é um fenômeno da deformação do corpo elástico da Terra causado pela força de atração gravitacional da Lua e do Sol (MELCHIOR, 1983). Os efeitos causados pelas marés terrestres não são cruciais para o posicionamento relativo, porém, utilizando o modo de posicionamento PPP todas as fontes de erros devem ser consideradas pois o método de posicionamento tenta determinar a posição absoluta de um ponto com um único receptor GPS (HU et al., 2005). O modelo padrão das marés terrestres sólidas é o IERS92 (YIN et al., 2010).
- Ionosphere Correction (Correção Ionosférica): Os softwares para análise de pós-processamento do RTKLib disponibilizam muitas opções de correção ionosférica. As utilizadas neste trabalho são a correção Iono-Free LC, para receptores de dupla frequência (ion-free); Broadcast, para receptores de frequência simples utilizando o modelo de Klobuchar; IONEX TEC, também para receptores de frequência simples mas utilizando arquivos IONEX (mapas de VTEC).
- Troposphere Correction (Correção Troposférica): O atraso troposférico depende do caminho do sinal através da atmosfera neutra e, portanto, pode ser modelado em função do ângulo de elevação do satélite. Devido às diferenças entre os perfis atmosféricos dos

gases secos e vapor de água, é melhor usar diferentes mapeamentos para os componentes secos e úmidos. O modelo Saastamoinen (SAASTAMOINEN, 2006) é uma opção em muitos pacotes de software GPS e é considerado o modelo hidrostático mais preciso. A atmosfera seca pode ser modelada a partir da pressão e temperatura da superfície usando as leis dos gases ideais. O componente úmido é mais imprevisível e difícil de modelar; portanto, para o posicionamento de alta precisão, esse atraso é estimado juntamente com as coordenadas (SUBIRANA; ZORNOZA; HERNÁNDEZ-PAJARES, 2013).

- **Satellite Ephemeris/Clock (Efemérides de Satélite/Relógio):** A utilização do modo de posicionamento preciso por ponto (PPP) nos faz altamente dependentes da utilização de efemérides precisas (opção *Precise*) e dos produtos de clock usados pelos satélites (MOHAMMED et al., 2018). O modo Preciso utilizado nas efemérides e clock tem como função efetuar um cálculo mais preciso das órbitas de satélite reais, obtidas usando dados coletados em estações de rastreamento espalhadas pelo mundo.
- **Sat PCV (Sistema Autenticador e Transmissor da Variação do Centro da Fase da Antena):** Definida para poder utilizar arquivo de Antena.
- **Rec PCV (Gravação da Variação do Centro da Fase da Antena):** Definida para poder utilizar arquivo de Antena.
- **PhWindup (Conclusão de Fase):** Definida se a correção de conclusão de fase para os modos PPP é aplicada ou não.
- **Navigation System (Sistema de Navegação):** Seção para definir o sistema de navegação GNSS. O sistema de análise utilizado neste trabalho foi o GPS.

Ainda nas configuração do RTKPost, na aba *Setting2* a opção *Integer Ambiguity Resolution (GPS)* foi desligada (OFF), desativando estratégia de resolução ambíguas inteiras para GPS (TAKASU, 2013). O posicionamento com GPS no nível de precisão centimétrico é baseado na medida da fase da onda portadora, o que torna a observável ambígua de um número inteiro de ciclos entre as antenas do satélite e do receptor no instante da primeira observação, denominado de ambiguidade GPS (MARQUES et al., 2014). A aba *Outputs* contém as configurações de saída para o arquivo gerado do pós-processamento (.pos). Definiu-se que os arquivos de saída teriam as coordenadas no formato XYZ-ECEF (sistema "convencional terrestre" ou centrado na terra) com tempo no formato UTC de três casas decimais para possibilitar a estimação de erro com base no cálculo da distância euclidiana para as localidades (conhecidas) para as estações GNSS utilizadas.

Na aba *Positions* foi selecionada a opção para utilizar um arquivo de antena, *Antenna Type*, na opção *. Outra configuração muito importante fica na opção *Files*, onde efetua-se a carga dos arquivos de antenas (.atx) e do arquivo IONEX (quando selecionado o modo de correção ionosférica IONEX TEC). As demais abas e configurações não sofreram alterações.

3.4 ETAPA 4 - EXECUÇÃO

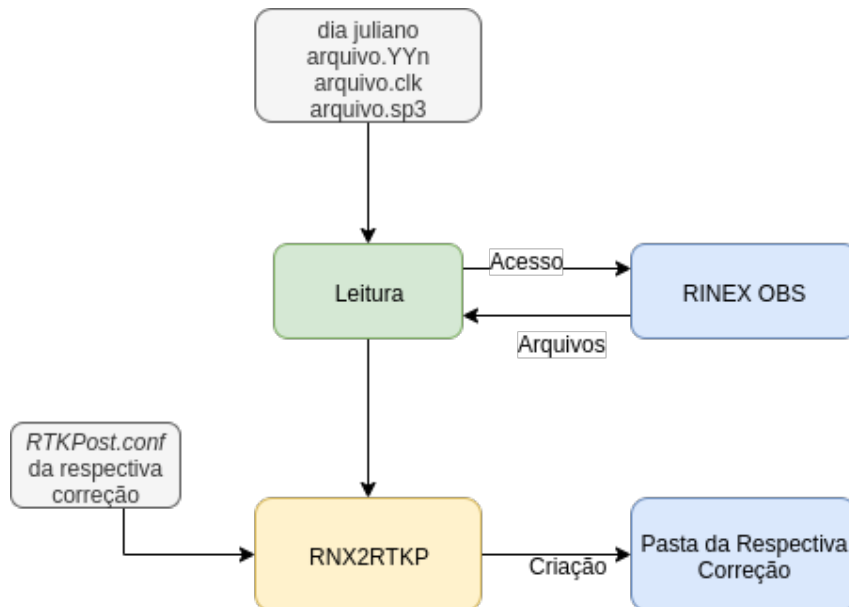
Para execução do software de pós-processamento com correção ionosférica baseada no IONEX TEC precisamos dos arquivos no formato IONEX gerados pela simulação ionosférica do INPE, baseada no modelo SUPIM-DAVS, e pela simulação ionosférica do IGS, baseada no modelo GIM. Os arquivos IONEX do IGS podem ser baixados através do site do IGS descrito na Etapa 2: Obtenção dos arquivos. Os IONEX oriundos da simulação ionosférica do INPE precisaram ser gerados através de simulação. A execução da simulação ionosférica acontece por meio de linhas de comandos utilizando um cluster de computadores, demorando cerca de 20 horas para efetuar uma simulação global para um único dia.

Obtidos todos os arquivos necessários para o pós-processamento dos dias escolhidos e efetuada a configuração do RTKPost, optou-se por utilizar o software RNX2RTKP. Apesar do RTKPost possuir interface gráfica e ser mais intuitivo para o usuário, sua execução acabaria ficando prejudicada pela quantidade de estações e arquivos a serem manipulados. O RNX2RTKP é uma versão do RTKPost sem interface gráfica, e apesar de também executar um arquivo de observação por vez, fica mais fácil de automatizar as operações pois é usada linha de comando. Além disso, o RNX2RTKP é capaz de executar arquivos de configurações exportados do RTKPost através do botão *Save...*, como indica Figura 3.8.

Após configurar o RTKPost na Etapa 3 - Configuração do software para as três formas de correção (ion-free, Klobuchar e IONEX), as configurações foram salvas em arquivos texto de extensão ".conf" (Apêndices B, C, D e E). Pelo fato do RNX2RTKP conseguir utilizar arquivos pré-configurados do RTKPost na sua execução, foram criados quatro scripts, um para cada método de correção, a fim de otimizar a execução. As entradas dos scripts são o dia juliano, os arquivos de configuração e demais arquivos necessários mencionados anteriormente (Figura 3.9). Uma função para mapear diretórios foi criada, assim, o programa mapeia o diretório que contém os arquivos de observação e armazena seus nomes em uma lista. Cada linha da lista contém o nome de um arquivo de observação de cada estação, que é usado em um laço de forma a percorrer toda lista, e invoca o programa RNX2RTKP variando seus parâmetros de observação. O arquivo de saída recebe o mesmo nome do arquivo de observação mudando seu tipo para ".pos" (scripts disponíveis nos Apêndices F, G, H e I).

Um diretório é gerado por cada script sendo que cada diretório contém 100 arquivos de pós-processamento, referentes ao arquivo de observação de cada estação. No total, utilizando as quatro formas de correção (dupla frequência, Klobuchar, IONEX SUPIM-DAVS, IONEX GIM) haverá quatro arquivos, com diferentes correções, referentes a uma única estação selecionada. Esses arquivos precisarão ser avaliados na etapa seguinte.

Figura 3.9 – Fluxograma modelo da mecânica do funcionamento de cada Script



Fonte: Autor.

3.5 ETAPA 5 - AVALIAÇÃO

Os arquivos gerados do pós-processamento possuem a extensão ".pos" e contém cabeçalho e dados de informações. O cabeçalho contém informações sobre a versão da aplicação, os arquivos utilizados, data e hora do início e o fim da execução e as configurações utilizadas. A parte dos dados contida no arquivo está no formato configurado conforme indicado na Etapa 3 - Configuração do software, com as coordenadas x, y e z estimadas de trinta em trinta segundos, partindo da data e hora de início até a data e hora final.

Considerando a resolução temporal de 2 horas para os mapas de VTEC do IGS, e de 1 hora para a simulação ionosférica do INPE, baseada no modelo SUPIM-DAVS, decidiu-se optar por uma comparação a cada duas horas, iniciando 00h00 até 22h00. Assim, ainda que os resultados do pós-processamento sejam apresentados a cada 30 segundos, apenas os posicionamentos coincidentes com os horários estabelecidos foram utilizados, ou seja, 12 resultados por dia foram avaliados.

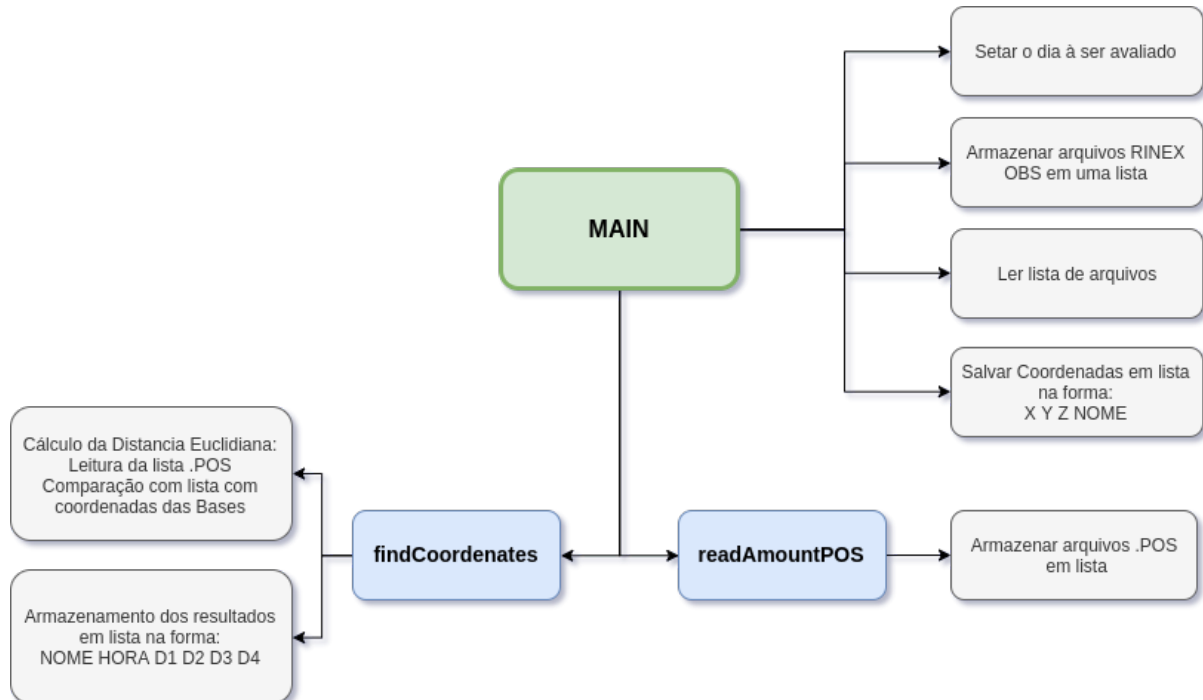
Como os arquivos de pós-processamento contém as coordenadas x, y, e z de cada amostra, optou-se por escolher o método de cálculo da Distância Euclidiana entre o posicionamento realizado e as localidades conhecidas de cada estação GNSS. Os arquivos RINEX de Observação de cada estação contém as coordenadas (x, y e z). Assim, cada método de correção teria uma certa distância (ou erro) estimado em metros em relação a estação base. Também, notou-se que algumas estações, em determinadas horas, não conseguiam enviar sua amostra de pós-processamento. Por conta disso adicionou-se uma tolerância de 10 minutos para cada hora, totalizando assim uma avaliação com base em 00h00 (até 00h10) até 22h00 (até 22h10).

A Distância Euclidiana é a menor distância entre dois pontos num plano, que utiliza do

teorema de Pitágoras para cálculo. Inicialmente para a análise foi desenvolvido um programa em linguagem C. Posteriormente, o algoritmo foi migrado para linguagem de programação Python, principalmente pelo fato de ela trabalhar mais facilmente com listas. O funcionamento básico do software está demonstrado no Fluxograma da Figura 3.10 e para maior entendimento de seu funcionamento, o código fonte encontra-se no Apêndice J.

A única entrada que software recebe é o dia Juliano, e com isso, ele é capaz de acessar o diretório onde encontram-se os arquivos RINEX de Observação de cada estação. Estes arquivos contém as informações sobre a base, incluindo as coordenadas (x, y e z) que são lidas e armazenadas em uma lista. Cada método de correção possui sua pasta com seus arquivos de pós-processamento gerados pelo RNX2RTKP. É feita então a leitura destes arquivos e também ocorre seu armazenamento em listas. Essas listas são lidas e busca-se em cada arquivo de pós-processamento as coordenadas a cada duas horas (00h00 até 22h00) com tolerância de 10 minutos. Também, ocorre uma busca na lista de estações GNSS utilizadas para encontrar as respectivas coordenadas. Por fim, é efetuado o cálculo da distancia euclidiana entre as coordenadas da estação e as coordenadas do pós-processamento. Tem-se então uma estimativa de erro a cada duas horas para cada uma das estações. Esses dados são armazenados em lista de listas, como pode ser visto na Figura 4.1.

Figura 3.10 – Fluxograma básico da mecânica do funcionamento do Software de Avaliação



Fonte: Autor.

4 RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos através do software implementado com o intuito de avaliar as diferentes correções ionosféricas em receptores GPS de frequência simples tendo como comparação a correção em receptores GPS utilizando dupla frequência. A avaliação ocorreu sobre arquivos pós-processados de estações espalhadas pelo mundo, durante um dia de cada mês cobrindo todo o ano de 2018.

Vale ressaltar que as estações utilizadas foram as disponíveis no site do IGS, como indicado na Etapa 2: Obtenção dos arquivos (seção 3.2). Do conjunto total de estações, que totalizam mais de 500, a disponibilidade do arquivo de clock (.clk) limitou as estações compatíveis com os demais arquivos, e restaram ao todo 100 estações para os testes, resultando então no total de 400 arquivos pós-processados (.pos).

4.1 AVALIAÇÃO NUMÉRICA

O resultado do software implementado em Python pode ser visto (parcialmente) pela Figura 4.1. Como previsto, o resultado nos mostra a distância (ou erro), em metros de cada uma das quatro diferentes formas de correção para cada estação GNSS começando na hora 00h00 e indo até a hora 22h00 com resolução temporal de 2 horas. A Tabela 4.1 informa a média das distâncias acumuladas, ou erro médio, de cada um dos métodos de correção para os dias avaliados. No Apêndice A, encontra-se uma tabela onde são informados o erro médio, erro máximo, erro mínimo, e desvio padrão, de cada método de correção para todas as estações analisadas neste projeto.

Tabela 4.1 – Erro médio de cada método de correção para os dias avaliados

Data	Dual Frequency (m)	Klobuchar (m)	SUPIM-DAVS (m)	GIM (m)
10.01.2018	0,91962	3,72282	7,50705	4,09374
10.02.2018	0,94719	3,84452	7,61696	4,14246
10.03.2018	1,02883	4,02970	8,35225	4,44542
10.04.2018	0,93333	3,84254	9,12165	4,59838
10.05.2018	1,00341	3,41075	9,66887	4,63577
10.06.2018	0,88518	3,38392	10,99009	4,04849
10.07.2018	0,86637	3,10855	8,86025	3,15241
10.08.2018	0,92836	2,91003	7,43534	3,08802
10.09.2018	0,93162	3,52176	9,08037	4,14424
10.10.2018	0,85419	3,84419	8,69792	4,04793
10.11.2018	1,00656	4,01972	4,34822	4,51752
10.12.2018	0,99414	3,70765	3,82055	3,43482

Fonte: Autor.

Figura 4.1 – Resultado numérico da avaliação feita pelo software criado

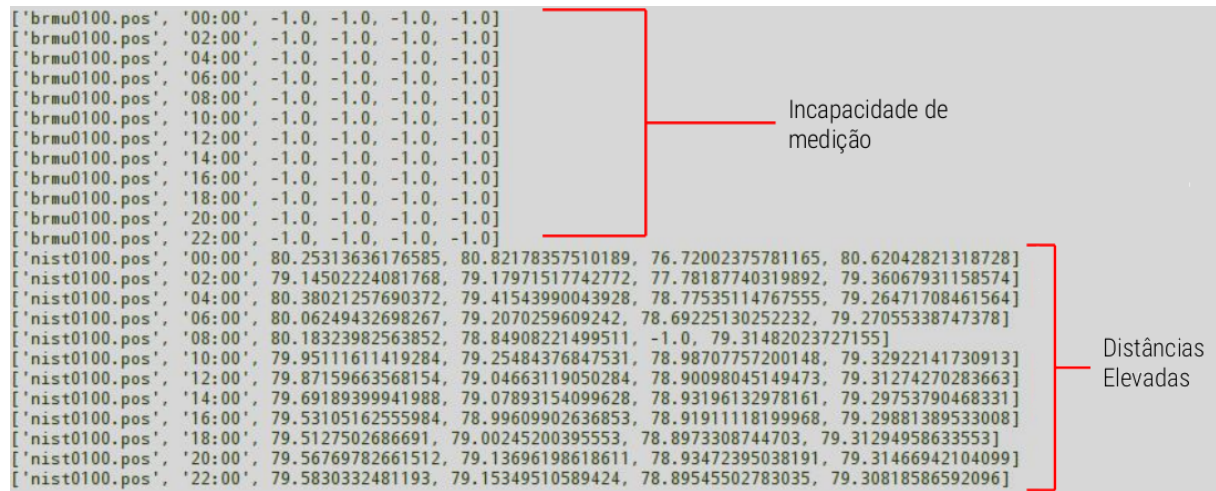
Estação	Hora	GIM	KLOBUCHAR	SUPIM-DAMS	DUAL_FREQUENCY
['mac10100.pos', '00:00']		4.591805147888944,	3.126340208601937,	4.1770752553914985,	1.4262751303806587]
['mac10100.pos', '02:00']		3.774549713596879,	1.4836819366952763,	-1.0, 0.8679095916993244]	
['mac10100.pos', '04:00']		4.089466329690383,	1.2676574105222218,	3.3929567544414376,	0.8731746099489709]
['mac10100.pos', '06:00']		3.5147004784757407,	1.2130525919303967,	2.9868870963948932,	0.85675449231177]
['mac10100.pos', '08:00']		2.265681633021873,	1.033329555261261,	3.1495402263164047,	0.8773986090080432]
['mac10100.pos', '10:00']		2.4328210582038103,	1.2811445427864472,	2.984736142220127,	0.8956197234077452]
['mac10100.pos', '12:00']		2.094964918899922,	1.274518846209181,	2.9437807493362715,	0.9112981339523653]
['mac10100.pos', '14:00']		2.140054174696854,	1.0482697647151182,	2.780167789619694,	0.9091313764944559]
['mac10100.pos', '16:00']		2.0669844390985945,	0.6762221602303109,	2.6813255038540325,	0.9044121292164476]
['mac10100.pos', '18:00']		1.999928824318885,	0.7347835390945662,	2.624136326134108,	0.8987622935424999]
['mac10100.pos', '20:00']		1.9246427048051322,	0.6616418738773517,	-1.0, 0.8853492751597675]	
['mac10100.pos', '22:00']		1.8178714452271296,	0.7527618480332756,	2.44385956610737,	0.880054822149028]
['maw10100.pos', '00:00']		8.692930754073362,	12.758445902009607,	16.92535575096127,	2.300716068626401]
['maw10100.pos', '02:00']		5.046293679430192,	5.819626677974605,	14.947253329947939,	0.973637248272797]
['maw10100.pos', '04:00']		3.9207813226147,	4.941115410719517,	14.19578406622556,	0.9040614476942026]
['maw10100.pos', '06:00']		3.922883557373634,	6.316663382551703,	13.608106669553361,	0.8735322376093546]
['maw10100.pos', '08:00']		3.452585687431494,	5.2450000754644295,	13.707938836656863,	0.8472199129204276]
['maw10100.pos', '10:00']		3.274767571541271,	5.516880373995425,	-1.0, 0.8547439914621244]	
['maw10100.pos', '12:00']		2.9030190165146483,	5.178905152742042,	13.612543428286898,	0.8653172539846418]
['maw10100.pos', '14:00']		2.343212747190608,	4.75878201317404,	0.8404873175837299,	0.8541405099833838]
['maw10100.pos', '16:00']		2.2574799156574845,	4.748742302837258,	13.4425064706614,	0.8724936966172141]
['maw10100.pos', '18:00']		2.0195140155280433,	4.506862204753726,	13.331053366215194,	0.8768456705256054]
['maw10100.pos', '20:00']		1.7843803320118536,	4.248632427432368,	13.273413872072407,	0.8739117750704393]
['maw10100.pos', '22:00']		1.6601364942642884,	3.885365537496697,	13.009154336808876,	0.8666649005248794]
['flin0100.pos', '00:00']		3.4747786940445757,	8.298819945771253,	6.299891993044341,	0.8858647074236576]
['flin0100.pos', '02:00']		2.8113881039402076,	2.438479915700321,	4.8800967133333,	0.56474986502065751]

Fonte: Autor.

Numericamente é possível perceber que o modelo SUPIM-DAMS apresentou uma pior correção do erro ionosférico, apresentando uma maior distância, em metros, para cada estação, seguido pelo modelo GIM utilizado pelo IGS e tendo o Klobuchar como a melhor correção dentre as alternativas analisadas para receptores GPS de frequência simples. As correções para o erro ionosférico em receptores GPS de frequência simples foram analisadas e comparadas com a correção utilizando frequência dupla.

O resultado numérico também nos forneceu informações sobre estações que apresentaram algum problema no pós-processamento (Figura 4.2). Por convenção, optou-se por desconsiderar distancias que apresentaram problemas na hora do seu cálculo. O problema de incapacidade de medição da distância (erro em metros), pode ser ocasionado pela inexistência de amostras para a hora avaliada, consequência de cintilação ou outros problemas ionosféricos, como ocorrência de tempestades geomagnéticas ou bolhas ionosféricas. A Tempestade Geomagnética ou Tempestade Solar, é uma perturbação no campo magnético da terra ocasionada por uma nuvem magnética, podendo ou não ser acompanhada de uma onda de choque do vento solar. Bolhas ionosféricas ocorrem na região do equador magnético, sendo uma diminuição da densidade de plasma ionosférico. Outro ponto interessante a ser analisado na Figura 4.2 são as elevadas distâncias, em metros, que foram calculadas. Essas, por sua vez, podem ser ocasionadas por fatores como erro nas coordenadas da estação contidas no RINEX de Observação (coordenadas inexistentes), resultando em uma elevada distância calculada pela fórmula da distância euclidiana ou as estações localizadas de forma desfavorável, prejudicando sua análise de pós-processamento e consequentemente o cálculo da distância.

Figura 4.2 – Exemplo de estações com amostragem alteradas



Fonte: Autor.

4.2 AVALIAÇÃO GRÁFICA

Para solucionar o problema das estações alteradas, descrito anteriormente, optou-se por ter como referência as distâncias providas da correção em receptores GPS de dupla frequência que possuem uma melhor exatidão na correção. Decidiu-se então optar por remover as estações que foram impossibilitadas de obter um posicionamento. Além disso, definiu-se como 5 metros o erro máximo a ser tolerado para a correção ionosférica de dupla frequência, visto que erros acima desse valor evidenciam outros tipos de problema provavelmente não relacionados à ionosfera.

A Figura 4.3 apresenta o erro médio de cada uma das estações espalhadas pelo mundo, para cada um dos métodos de correção utilizados. O tamanho dos círculos preenchidos é proporcional ao erro ionosférico (maior distância).

Observa-se que dentre as correções utilizadas em dispositivos de frequência simples, o modelo SUPIM-DAVS, utilizado pelo INPE, e a combinação de modelos GIM, utilizado pelo IGS, apresentaram piores correções ionosféricas se comparados com o modelo Klobuchar. Para ter uma melhor avaliação das correções para cada estação em relação ao tempo, foi gerada a Figura 4.4.

A Figura 4.4 apresenta o erro médio de cada estação, com referência mensal, para cada uma das correções ionosféricas avaliadas, apresentando a possibilidade de analisar eventuais anomalias sazonais. Os meses apresentados são para o ano de 2018, onde a transição de cores (do azul para o vermelho) representa os erros de cada estação. As lacunas em branco indicam que há ausência de arquivos de observações de algumas estações para determinado dia.

Através da Figura 4.4 percebe-se que algumas estações continuam apresentando valores elevados de distância, independentemente da correção ionosférica aplicada, como por exemplo as estações textitieng, *mdvj*, *urum*, *wtzr*, entre outras. Por apresentarem uma similaridade em

todos os meses, para todas as correções, possivelmente foram estações que apresentaram uma distância menor que 5 metros para a correção de dupla frequência mas que apresentaram distâncias elevadas nas correções utilizadas em receptores de frequência simples. Além disso, nota-se uma variação constante em alguns meses, mais notável no meses de maio e junho. O SUPIM-DAVS foi o mais afetado pela anomalia sazonal, que por estar presente em todas as correções, possivelmente oriunda de uma tempestade geomagnética que aconteceu no dia avaliado.

Comparando as Figuras 4.3 e 4.4 nota-se que o modelo Klobuchar apresentou ótimos resultados, mostrando-se mais eficiente que os modelos ionosféricos SUPIM-DAVS e GIM, e justificando seu uso atual em dispositivos utilizados no cotidiano. Outra possível explicação para os piores resultados para correção ionosférica através de arquivos IONEX seria algum problema no software RTKLib que prejudique os posicionamentos quando esses arquivos são utilizados.

Figura 4.3 – Representação da média do erro por estação com distribuição global

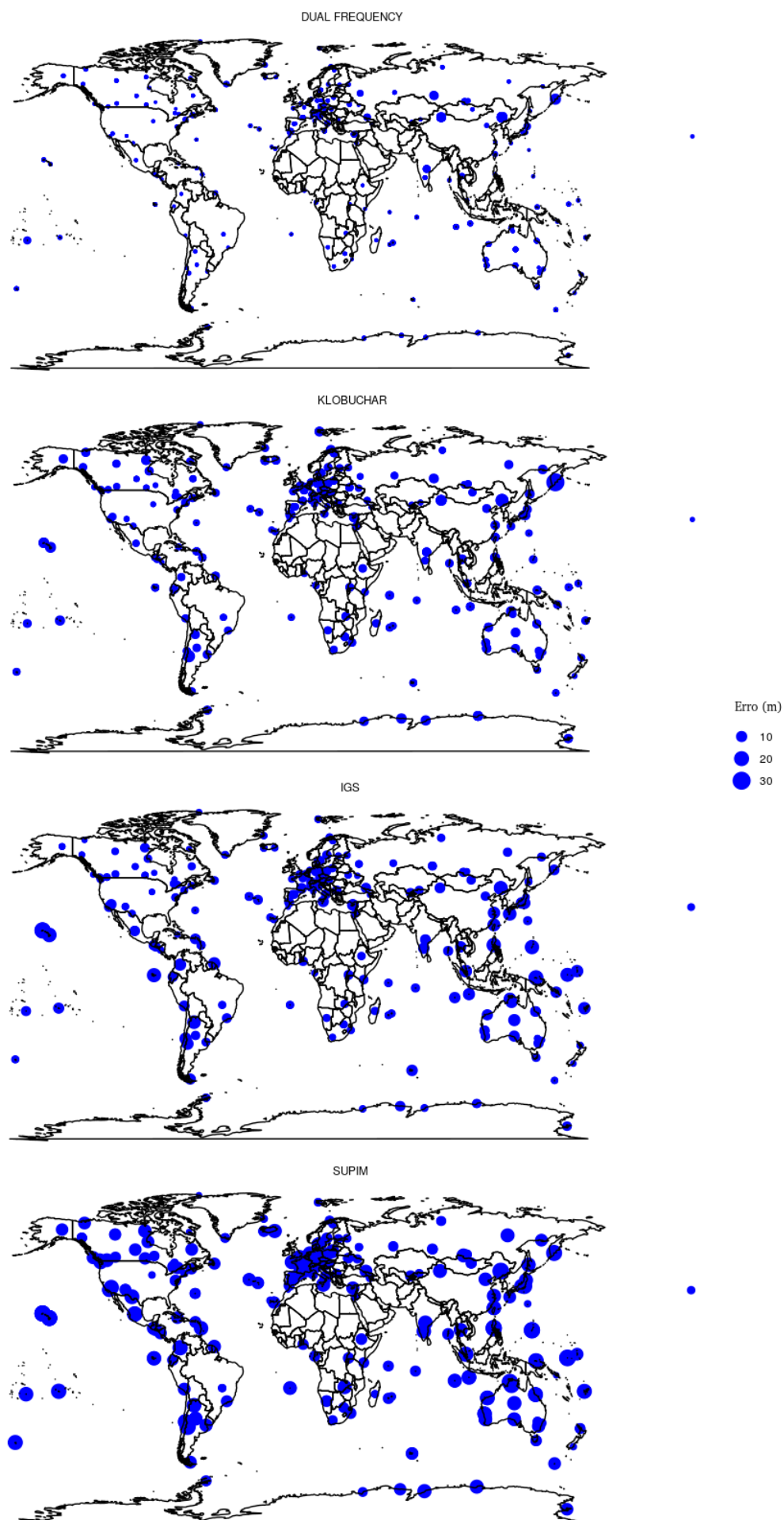
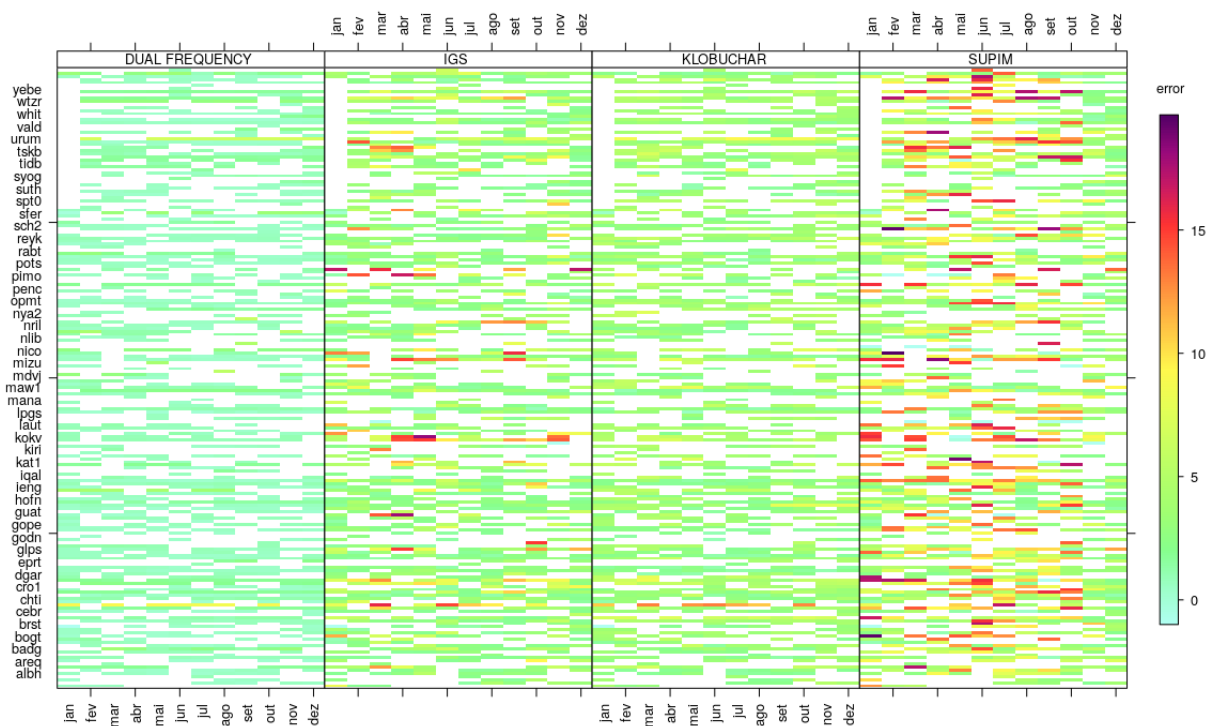


Figura 4.4 – Representação do erro distribuído por estações em função dos meses



Fonte: Autor.

5 CONCLUSÃO

Na atualidade, a maior fonte de erro em receptores GNSS é a refração ionosférica, que depende do conteúdo total de elétrons (TEC - Total Electron Content) na camada ionosférica, que por sua vez é influenciado pelo ciclo solar, as estações do ano, a hora local, a localização geográfica, o campo magnético da Terra, e outras variáveis. Receptores GPS de frequência dupla conseguem corrigir este erro utilizando uma combinação linear (ion-free) de suas frequências, enquanto que receptores de frequência simples necessitam do uso de modelos ionosféricos para minimizar os efeitos da refração ionosférica. No presente trabalho foi efetuada a avaliação de três modelos ionosféricos: o modelo SUPIM-DAVS, utilizado na simulação ionosférica do INPE, modelo GIM, utilizado pelo IGS e o modelo de Klobuchar. Os três modelos tiveram como base de comparação a correção ionosférica utilizada por receptores GPS de frequência dupla que conseguem ter uma eficácia de até 99% na correção dos efeitos da refração ionosférica.

A avaliação dos modelos ionosféricos presentes neste trabalho pode possibilitar pesquisas para melhorar os modelos, deixando-os mais eficazes e precisos para o posicionamento utilizado no dia a dia e em áreas e serviços que necessitam de um posicionamento mais exato em equipamentos mais simples. Para executar a avaliação, precisou-se obter os arquivos gerados pelo software de pós-processamento presente no RTKLib. Criou-se um programa em Python capaz de avaliar, pela distância euclidiana, os arquivos gerados pelo pós-processamento. O modelo ionosférico SUPIM-DAVS, utilizado pela simulação ionosférica do INPE nunca havia sido avaliado em termos de eficácia para correção do erro ionosférico.

Conhecida a eficácia de cada modelo pela avaliação do software desenvolvido, levanta-se a possibilidade de um estudo mais abrangente, ampliando a avaliação para uma quantidade maior de datas, podendo também analisar sua eficácia através análises comparativas, para poder identificar com clareza possíveis modificações que podem ser efetuadas no modelo, em particular no modelo desenvolvido e operado pelo INPE, a fim de melhorar sua acurácia no posicionamento. Ademais, os modelos ionosféricos são essenciais para o uso de receptores GNSS de frequência simples, visto que por serem economicamente mais viáveis que receptores GNSS de frequência dupla, são popularmente utilizados em diversos dispositivos do cotidiano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAILEY, G.; BALAN, N. A low-latitude ionosphere-plasmasphere model, step handbook on ionospheric models. **RW Schunk**, v. 173.
- BAILEY, G.; BALAN, N.; SU, Y. The sheffield university plasmasphere ionosphere modela review. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, Elsevier, v. 59, n. 13, p. 1541–1552, 1997.
- BAILEY, G.; SELLEK, R. A mathematical model of the earth's plasmasphere and its application in a study of the (+) at $l=3$. In: **Annales Geophysicae**. [S.l.: s.n.], 1990. v. 8, p. 171–189.
- BAILEY, G.; SELLEK, R.; RIPPETH, Y. A modelling study of the equatorial topside ionosphere. In: **Annales geophysicae**. [S.l.: s.n.], 1993. v. 11, p. 263–272.
- BEIDOU, I. **BeiDou navigation satellite system signal in space interface control document open service signal B1I (Version 1.0)**. [S.l.]: China Satellite Navigation Office, 2012.
- CAMARGO, P. d. O. Modelo regional da ionosfera para uso em posicionamento com receptores gps de uma frequência. 1999.
- CDDIS. **CDDIS - The Crustal Dynamics Data Information System**. 2019. Disponível em: <<https://cddis.nasa.gov>>.
- HOLLWEG, G. V. et al. Preliminary evaluation of accuracy improvement in arduino-based single-frequency gps receiver using ionosphere simulation data.
- HU, C.-W. et al. Data processing for gps precise point positioning. **Transactions of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics**, Editorial Dept. of Journal of NUAA., 2005.
- IGS. **ANTEX: The Antenna Exchange Format**. 2019. Disponível em: <<https://kb.igs.org/hc/en-us/articles/216104678-ANTEX-format-description>>.
- KLOBUCHAR, J. A. Ionospheric time-delay algorithm for single-frequency gps users. **IEEE Transactions on aerospace and electronic systems**, IEEE, n. 3, p. 325–331, 1987.
- LEICK, A.; RAPOPORT, L.; TATARNIKOV, D. **GPS satellite surveying**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2015.
- MARQUES, H. A. et al. Análise dos efeitos ionosféricos de ordem superior no ciclo solar 24 e influência no posicionamento gnss absoluto. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Universidade Federal do Paraná, v. 20, n. 4, p. 879–901, 2014.
- MATSUOKA, M. T.; CAMARGO, P. D. O. Correção ionosférica utilizando o modelo de klobuchar e o modelo regional da ionosfera: Avaliação da performance no posicionamento por ponto. 2002.
- MATSUOKA, M. T.; COLLISCHONN, C.; CAMARGO, P. D. O. Análise do desempenho do modelo global da ionosfera do igs no posicionamento por ponto durante períodos de tempestades geomagnéticas: Estudo de caso para 29-30 de outubro de 2003 na região sul do brasil. 2010.
- MELCHIOR, P. The tides of the planet earth. **Organic Photonics and Photovoltaics**, 1983.

MISRA, P.; ENGE, P. Global positioning system: signals, measurements and performance second edition. **Global Positioning System: Signals, Measurements And Performance Second Editions**, 2006.

MOHAMMED, J. et al. An assessment of the precise products on static precise point positioning using multi-constellation gnss. In: IEEE. **2018 IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium (PLANS)**. [S.l.], 2018. p. 634–641.

MOLDWIN, M. **An introduction to space weather**. [S.l.]: Cambridge University Press, 2008.

PETRY, A.; SOUZA, J. R. de; VELHO, H. F. de C. Sistema para previsao operacional da dinamica da ionosfera baseado no modelo supim.

PETRY, A. et al. First results of operational ionospheric dynamics prediction for the brazilian space weather program. **Advances in Space Research**, Elsevier, v. 54, n. 1, p. 22–36, 2014.

PETRY JONAS RODRIGUES DE SOUZA, H. F. d. C. V. A. G. P. G. J. B. A. First results of operational ionospheric dynamics prediction for the brazilian space weather program. v. 54, p. 22–36, 2014.

RINEX-WIKIPEDIA. **RINEX**. 2019. Disponível em: <<https://en.wikipedia.org/wiki/RINEX>>.

ROLLOVERGPS-WIKIPEDIA. **GPS Week Number Rollover**. 2013. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/GPS_Week_Number_Rollover>.

SAASTAMOINEN, J. Simplified model for calculation of devolatilization in fluidized beds. **Fuel**, Elsevier, v. 85, n. 17-18, p. 2388–2395, 2006.

SCHAER, S.; GÉODÉSIQUE, S. helvétique des sciences naturelles. C. **Mapping and predicting the Earth's ionosphere using the Global Positioning System**. [S.l.]: Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, Eidg. Technische Hochschule Zürich, 1999. v. 59.

SEEBER, G. Satellite geodesy, 2nd completely revised and extended edition. **Walter de Gruyter GmbH & Co. KG**, v. 10785, p. 303–304, 2003.

SUBIRANA, J. S.; ZORNOZA, J. J.; HERNÁNDEZ-PAJARES, M. Gnss data processing, volume i: Fundamentals and algorithms. **ESA Communications, ESTEC, Noordwijk, Netherlands**, p. 145–161, 2013.

TAKASU, T. **RTKLib: an open source program package for GNSS positioning**. 2007. Disponível em: <www.rtklib.com>.

_____. **RTKLIB ver. 2.4.2 Manual**. 2013. Disponível em: <http://rtklib.com/prog/manual_2.4.2.pdf>.

TEUNISSEN, P.; MONTENBRUCK, O. **Springer handbook of global navigation satellite systems**. [S.l.]: Springer, 2017.

WEBSTER, I. R. **A regional model for the prediction of ionospheric delay for single frequency users of the Global Positioning System**. [S.l.]: University of New Brunswick, 1994.

YIN, H. et al. Effect of solid-earth-tide on gps time series. **Geodesy and Geodynamics**, Elsevier, v. 1, n. 1, p. 64–69, 2010.

**APÊNDICE A – TABELA CONTENDO MÉTRICAS AGREGADAS PARA AS
ESTAÇÕES ANALISADAS**

MODEL	STATION	STANDARD DEVIATION	AVERAGE	MIN	MAX
DUAL FREQUENCY	abpo	0.52365	0.51011	0.28987	3.13078
IGS	abpo	1.94107	3.34302	1.14681	11.19566
KLOBUCHAR	abpo	2.78819	3.13994	0.36205	14.29535
SUPIM	abpo	1.87026	3.69667	1.12552	9.84905
DUAL FREQUENCY	adis	0.47181	0.41870	0.06103	2.75281
IGS	adis	1.35443	2.98819	0.81575	6.32524
KLOBUCHAR	adis	2.08266	3.13370	0.34480	9.84701
SUPIM	adis	3.82478	5.65845	0.67538	18.64617
DUAL FREQUENCY	ajac	0.51778	0.90718	0.61110	2.45111
IGS	ajac	2.93048	2.42463	1.03193	10.87774
KLOBUCHAR	ajac	3.31316	3.71587	2.13959	12.98064
SUPIM	ajac	2.36485	7.20358	5.98526	13.78856
DUAL FREQUENCY	albh	0.47526	0.55461	0.21254	2.64442
IGS	albh	1.87019	2.65675	0.98824	10.90937
KLOBUCHAR	albh	2.91089	2.21249	0.24199	12.99863
SUPIM	albh	6.09350	7.18171	0.76992	29.31037
DUAL FREQUENCY	algo	0.55886	0.50869	0.17968	4.15428
IGS	algo	2.53941	2.65272	0.56690	16.42450
KLOBUCHAR	algo	2.14597	2.12901	0.59393	14.89455
SUPIM	algo	4.09676	7.73601	2.03731	27.10897
DUAL FREQUENCY	alic	0.44939	1.79472	1.33072	4.79548
IGS	alic	4.13064	6.77140	2.07799	22.36534
KLOBUCHAR	alic	2.95748	5.02064	1.89543	17.30284
SUPIM	alic	5.25189	7.59302	1.52723	23.47579
DUAL FREQUENCY	alrt	0.56823	0.94505	0.73162	2.74319
IGS	alrt	0.67081	2.93396	2.43653	4.88530
KLOBUCHAR	alrt	1.44236	3.08912	1.75449	5.90445
SUPIM	alrt	0.57060	2.79241	2.41607	4.41019
DUAL FREQUENCY	areq	0.35296	0.33492	0.13881	1.91060
IGS	areq	3.00405	4.71661	1.06263	15.46649
KLOBUCHAR	areq	3.16049	3.66893	1.13324	18.32489
SUPIM	areq	3.68183	9.47385	1.48683	16.63207
DUAL FREQUENCY	artu	0.32048	0.82237	0.47288	2.68531
IGS	artu	2.30563	2.40407	0.39492	14.10578
KLOBUCHAR	artu	2.66256	2.80928	0.86616	19.33479
SUPIM	artu	2.90566	4.53728	0.74998	17.21256
DUAL FREQUENCY	aruc	0.66552	0.41758	0.16337	2.42253
IGS	aruc	1.38226	2.73956	1.60017	6.61405
KLOBUCHAR	aruc	3.25442	1.83327	0.24408	10.78819

MODEL	STATION	STANDARD DEVIATION	AVERAGE	MIN	MAX
SUPIM	aruc	0.39169	5.27102	4.77559	6.12090
DUAL FREQUENCY	auck	0.35521	0.91606	0.65772	3.18030
IGS	auck	1.43635	2.54082	0.67552	10.17741
KLOBUCHAR	auck	3.03094	2.74515	0.71912	14.88693
SUPIM	auck	2.66613	6.46008	1.11288	14.69396
DUAL FREQUENCY	badg	0.95237	2.25056	0.57872	4.91785
IGS	badg	2.52422	3.80358	0.49686	12.71660
KLOBUCHAR	badg	2.02133	3.07777	0.99458	15.10849
SUPIM	badg	4.17882	7.43009	0.69065	25.95101
DUAL FREQUENCY	bake	0.40770	0.62074	0.19969	2.97457
IGS	bake	2.87642	2.90586	0.78402	20.70622
KLOBUCHAR	bake	3.39771	4.23939	0.88443	25.06636
SUPIM	bake	5.69610	6.10495	0.15595	28.24639
DUAL FREQUENCY	bjco	0.45647	0.79297	0.26516	2.48728
IGS	bjco	2.96083	3.82651	0.65122	9.22684
KLOBUCHAR	bjco	2.20728	2.76572	0.79725	11.51593
SUPIM	bjco	4.21722	4.53573	0.83160	15.86885
DUAL FREQUENCY	bjfs	0.42596	0.82995	0.38175	2.17206
IGS	bjfs	3.35057	3.49821	0.62518	21.03790
KLOBUCHAR	bjfs	2.63216	4.09342	1.18302	16.21878
SUPIM	bjfs	5.68673	8.63150	0.95346	23.95928
DUAL FREQUENCY	bogt	0.29784	0.35989	0.19787	1.96055
IGS	bogt	4.74759	6.58952	1.18075	23.35031
KLOBUCHAR	bogt	2.69462	3.75361	1.87711	18.00576
SUPIM	bogt	4.98288	14.86601	1.34790	26.22777
DUAL FREQUENCY	borl	0.35352	0.62774	0.17936	2.81303
IGS	borl	1.96268	2.93929	0.80386	11.26379
KLOBUCHAR	borl	1.74969	4.13514	1.91134	11.10534
SUPIM	borl	3.86751	5.61032	1.12258	15.93119
DUAL FREQUENCY	braz	0.67543	0.68878	0.27718	4.39571
IGS	braz	3.26560	3.28673	0.19891	15.40313
KLOBUCHAR	braz	2.27340	3.15104	1.33328	10.47529
SUPIM	braz	2.75006	4.54898	1.54331	12.57747
DUAL FREQUENCY	brmu	0.34600	0.50072	0.23229	2.19798
IGS	brmu	2.04387	2.37237	0.42889	10.38345
KLOBUCHAR	brmu	1.61246	2.27758	0.52803	9.53406
SUPIM	brmu	3.07077	7.03317	2.27326	13.31576
DUAL FREQUENCY	brst	0.35521	0.76571	0.30049	2.46540
IGS	brst	2.97495	2.81916	1.02846	15.68548
KLOBUCHAR	brst	3.41514	3.77750	0.94459	19.08844
SUPIM	brst	6.09426	9.66554	3.19391	22.78735
DUAL FREQUENCY	brux	0.30607	0.72962	0.29825	2.55288
IGS	brux	2.82428	3.14581	0.75816	17.54928
KLOBUCHAR	brux	2.46425	4.01760	1.81212	17.59536
SUPIM	brux	5.23702	6.33140	0.85511	19.36202

MODEL	STATION	STANDARD DEVIATION	AVERAGE	MIN	MAX
DUAL FREQUENCY	cas1	0.29823	1.26315	0.27820	3.16926
IGS	cas1	2.92969	3.87395	0.86021	15.00991
KLOBUCHAR	cas1	1.96221	6.71613	3.27018	17.55965
SUPIM	cas1	5.18580	9.19958	1.42359	26.37207
DUAL FREQUENCY	ccj2	0.11267	0.55840	0.46383	0.76982
IGS	ccj2	4.21526	6.16182	2.08225	15.24110
KLOBUCHAR	ccj2	2.85165	3.92134	1.54581	11.78708
SUPIM	ccj2	2.77505	3.78367	1.00495	10.78907
DUAL FREQUENCY	cebr	0.33560	0.36240	0.08712	1.79814
IGS	cebr	2.04271	2.25682	0.28710	11.99098
KLOBUCHAR	cebr	2.39536	3.26229	1.40709	13.99245
SUPIM	cebr	2.76766	3.85222	0.65751	17.20166
DUAL FREQUENCY	cedu	0.21452	1.68429	1.36161	3.04217
IGS	cedu	2.83874	4.45023	1.63888	14.74642
KLOBUCHAR	cedu	2.76245	4.09696	1.49092	17.14952
SUPIM	cedu	5.06955	10.27121	0.44338	18.79571
DUAL FREQUENCY	chpi	0.26298	0.31066	0.07328	1.39125
IGS	chpi	3.81930	4.00530	0.43841	16.85643
KLOBUCHAR	chpi	2.99936	3.08569	0.87476	18.82742
SUPIM	chpi	3.93969	6.56300	2.14444	22.50781
DUAL FREQUENCY	chti	0.25600	1.13382	0.62070	2.62509
IGS	chti	2.21172	2.90891	0.35583	15.64891
KLOBUCHAR	chti	3.51700	3.11653	0.54999	22.25025
SUPIM	chti	5.24101	6.59415	1.38680	23.29024
DUAL FREQUENCY	chur	0.39981	0.53345	0.12140	2.77702
IGS	chur	2.39856	2.23697	0.18861	14.81639
KLOBUCHAR	chur	2.56775	3.00294	0.64358	17.45263
SUPIM	chur	4.57193	5.40455	0.22568	21.01910
DUAL FREQUENCY	coco	0.22678	1.78441	1.25477	3.26604
IGS	coco	3.10871	5.22567	1.13405	17.42567
KLOBUCHAR	coco	2.33566	3.61945	0.97426	18.34823
SUPIM	coco	5.27029	9.86058	1.45204	19.83307
DUAL FREQUENCY	cord	0.43802	0.50942	0.22791	2.49386
IGS	cord	2.93037	3.41165	0.41836	15.26617
KLOBUCHAR	cord	3.09701	3.48079	1.04773	17.45201
SUPIM	cord	4.97786	9.59745	1.61150	23.69989
DUAL FREQUENCY	cro1	0.79311	0.56414	0.11649	4.51688
IGS	cro1	3.92883	5.53138	0.36451	15.74345
KLOBUCHAR	cro1	2.79442	4.23624	2.15734	16.27740
SUPIM	cro1	2.72334	8.94312	4.08272	15.71847
DUAL FREQUENCY	cusv	0.41452	2.08791	1.25809	4.19670
IGS	cusv	2.63485	7.10118	1.89666	13.50248
KLOBUCHAR	cusv	2.02553	5.30780	1.41287	15.70978
SUPIM	cusv	5.39993	9.59867	2.21434	18.24896
DUAL FREQUENCY	darw	0.36958	1.77618	1.24399	4.02512

MODEL	STATION	STANDARD DEVIATION	AVERAGE	MIN	MAX
IGS	darw	3.76459	7.76240	1.45373	17.61856
KLOBUCHAR	darw	3.23383	5.25749	1.74490	17.47673
SUPIM	darw	7.18077	13.79097	1.06734	25.83989
DUAL FREQUENCY	dav l	0.24141	1.07476	0.81510	2.50830
IGS	dav l	3.07737	2.88366	0.18633	18.72245
KLOBUCHAR	dav l	2.54005	5.48172	3.12249	16.95705
SUPIM	dav l	6.30051	8.31645	1.15690	23.88793
DUAL FREQUENCY	dgar	0.26717	0.79879	0.54996	2.43695
IGS	dgar	1.79375	3.62943	0.87392	8.99937
KLOBUCHAR	dgar	2.73110	2.51275	0.36766	17.95450
SUPIM	dgar	2.98986	4.30693	0.20490	10.79958
DUAL FREQUENCY	drao	0.38483	0.54942	0.32964	2.61940
IGS	drao	2.33537	2.78083	0.73044	17.79557
KLOBUCHAR	drao	3.16168	2.08937	0.17289	22.51586
SUPIM	drao	4.56365	6.42151	0.84547	23.69637
DUAL FREQUENCY	dubo	0.32257	0.60108	0.14180	1.99094
IGS	dubo	1.95445	2.63867	0.44167	11.96901
KLOBUCHAR	dubo	2.44289	1.91364	0.23077	16.78661
SUPIM	dubo	4.31532	6.47643	0.29918	19.93168
DUAL FREQUENCY	dund	0.03859	0.95013	0.89850	1.02384
IGS	dund	0.80318	2.79500	2.04731	4.84190
KLOBUCHAR	dund	1.49268	2.16673	1.06945	6.38938
SUPIM	dund	1.76322	3.64920	2.05567	8.42846
DUAL FREQUENCY	eprt	0.24839	1.98082	1.69025	3.02699
IGS	eprt	1.21116	3.34375	2.31981	7.37417
KLOBUCHAR	eprt	1.63575	4.27959	2.85762	11.42638
SUPIM	eprt	2.26209	7.82041	4.24077	13.20022
DUAL FREQUENCY	fair	0.52136	0.77473	0.29654	3.70427
IGS	fair	2.55604	2.19420	0.24109	18.94983
KLOBUCHAR	fair	2.55534	3.93028	1.58223	19.01162
SUPIM	fair	4.33093	6.13028	0.19238	19.99589
DUAL FREQUENCY	flin	0.35448	0.57186	0.21386	2.35960
IGS	flin	1.58685	2.19006	0.74024	9.79662
KLOBUCHAR	flin	2.33889	1.98688	0.31948	15.52567
SUPIM	flin	4.27345	6.07184	1.27414	16.67219
DUAL FREQUENCY	flrs	0.39512	0.68305	0.37428	3.39780
IGS	flrs	3.16299	3.47271	1.05072	17.42428
KLOBUCHAR	flrs	2.70547	2.86303	1.13496	16.04768
SUPIM	flrs	4.55945	9.79007	0.78469	20.85520
DUAL FREQUENCY	glps	0.48081	0.70499	0.37942	3.56013
IGS	glps	5.82953	8.55036	0.90906	32.08156
KLOBUCHAR	glps	3.91824	3.42240	0.55767	25.91315
SUPIM	glps	6.57637	12.07294	0.87027	27.58995
DUAL FREQUENCY	glsv	0.29348	1.14661	0.89105	2.53823
IGS	glsv	1.88488	2.60086	1.14229	12.45448

MODEL	STATION	STANDARD DEVIATION	AVERAGE	MIN	MAX
KLOBUCHAR	glsv	2.45851	4.34935	2.67217	17.51538
SUPIM	glsv	2.26745	6.37301	4.12904	17.39676
DUAL FREQUENCY	gmsd	0.33046	0.87424	0.70612	1.91644
IGS	gmsd	3.04447	16.02408	11.85035	20.53474
KLOBUCHAR	gmsd	1.63176	5.36336	3.17288	9.14675
SUPIM	gmsd	0.84865	14.00009	12.50154	15.95466
DUAL FREQUENCY	gode	0.27154	0.45443	0.21110	1.45109
IGS	gode	2.18671	3.31572	1.19501	11.42085
KLOBUCHAR	gode	1.84555	2.00326	0.53497	8.32660
SUPIM	gode	3.45880	5.05537	1.42231	13.38747
DUAL FREQUENCY	godn	0.06238	0.30994	0.22576	0.39349
IGS	godn	1.57555	2.48154	1.65730	7.32836
KLOBUCHAR	godn	1.35861	1.45561	0.55015	5.41938
SUPIM	godn	2.12061	2.08648	0.86629	8.33966
DUAL FREQUENCY	godz	0.29768	0.48161	0.25468	1.73677
IGS	godz	0.90487	1.79782	1.09389	4.95393
KLOBUCHAR	godz	0.81098	1.58311	0.42341	4.37436
SUPIM	godz	3.59748	7.01855	0.65711	14.16647
DUAL FREQUENCY	gol2	0.43374	0.52323	0.16585	3.01302
IGS	gol2	1.97493	2.88262	0.71538	14.13858
KLOBUCHAR	gol2	2.46225	1.89446	0.14020	12.95689
SUPIM	gol2	4.46495	8.60044	2.01334	21.15404
DUAL FREQUENCY	gold	0.19606	0.51551	0.32935	1.43654
IGS	gold	3.74638	4.13152	0.45012	22.61669
KLOBUCHAR	gold	4.59595	2.93953	0.34523	28.58032
SUPIM	gold	6.08177	11.36796	1.61374	30.44918
DUAL FREQUENCY	gope	0.44422	0.85970	0.40215	3.75758
IGS	gope	2.62307	3.42341	0.77823	15.05839
KLOBUCHAR	gope	2.51178	3.97281	1.47257	17.61898
SUPIM	gope	4.89480	5.71410	1.31596	18.85940
DUAL FREQUENCY	gras	0.30576	0.33032	0.12921	1.61237
IGS	gras	1.76027	2.52308	1.57254	10.50148
KLOBUCHAR	gras	2.43636	3.46795	1.74612	12.58113
SUPIM	gras	5.51940	8.41920	0.99326	22.68869
DUAL FREQUENCY	graz	0.33231	0.87190	0.43621	2.63487
IGS	graz	2.67109	3.15066	0.38830	14.23269
KLOBUCHAR	graz	2.50594	3.81543	1.45339	16.42741
SUPIM	graz	4.11082	7.17561	1.56411	18.24141
DUAL FREQUENCY	guam	0.62799	0.50691	0.11871	2.93520
IGS	guam	6.43489	11.18852	0.80198	19.93979
KLOBUCHAR	guam	3.83025	4.03136	0.78717	17.35869
SUPIM	guam	8.10953	17.70340	0.59707	27.73592
DUAL FREQUENCY	guat	0.88905	0.58124	0.05450	4.79437
IGS	guat	3.83269	4.84185	1.23090	23.72953
KLOBUCHAR	guat	3.45974	2.77169	0.28233	19.73325

MODEL	STATION	STANDARD DEVIATION	AVERAGE	MIN	MAX
SUPIM	guat	4.52824	9.10159	2.07263	21.51010
DUAL FREQUENCY	harb	0.45830	0.40194	0.07973	3.41004
IGS	harb	1.68898	2.79332	1.05163	12.77656
KLOBUCHAR	harb	2.12059	3.39108	0.38251	12.93268
SUPIM	harb	3.08705	4.71906	0.11841	14.25948
DUAL FREQUENCY	hers	0.27822	0.65057	0.19032	2.35114
IGS	hers	2.16896	3.04025	0.62632	13.59524
KLOBUCHAR	hers	2.91637	5.62191	1.81944	17.60559
SUPIM	hers	5.66770	7.07769	0.81145	20.35578
DUAL FREQUENCY	hob2	0.20414	1.47138	0.89650	2.50234
IGS	hob2	1.91706	2.77797	0.50259	11.92683
KLOBUCHAR	hob2	2.11220	2.70041	1.00108	16.03168
SUPIM	hob2	3.41288	5.41154	0.76530	14.71755
DUAL FREQUENCY	hofn	0.33659	0.54225	0.26623	2.81184
IGS	hofn	2.22043	2.51122	0.58818	19.49185
KLOBUCHAR	hofn	2.55424	4.73606	1.48165	17.56084
SUPIM	hofn	5.16626	5.48465	1.18029	26.39887
DUAL FREQUENCY	holb	0.49181	0.63671	0.35879	2.53522
IGS	holb	1.68704	1.99307	0.95487	8.37411
KLOBUCHAR	holb	3.45046	2.26923	0.20764	14.90669
SUPIM	holb	5.55834	7.89793	2.09196	21.26928
DUAL FREQUENCY	hrao	0.66307	0.64276	0.25083	4.13300
IGS	hrao	2.11331	2.52672	0.53265	13.83617
KLOBUCHAR	hrao	2.38679	3.34274	0.74786	15.74269
SUPIM	hrao	3.04010	4.36336	0.46301	14.00773
DUAL FREQUENCY	hyde	0.27513	3.81964	3.09360	4.27791
IGS	hyde	2.36875	5.28200	2.81226	11.47748
KLOBUCHAR	hyde	1.68958	5.54891	4.04915	13.14445
SUPIM	hyde	5.49131	9.32137	2.32486	19.87407
DUAL FREQUENCY	ieng	0.41233	0.60710	0.24131	2.38006
IGS	ieng	2.95853	3.32079	0.95160	14.64521
KLOBUCHAR	ieng	2.70398	3.50446	0.94966	15.85272
SUPIM	ieng	5.29427	6.65426	1.21843	19.90669
DUAL FREQUENCY	iisc	0.29803	0.94538	0.63580	2.55322
IGS	iisc	2.96298	3.93183	0.91892	11.71547
KLOBUCHAR	iisc	2.52995	2.41430	0.55426	13.09111
SUPIM	iisc	6.29358	7.93319	1.15364	21.30522
DUAL FREQUENCY	ineg	0.58398	0.42016	0.00863	4.54513
IGS	ineg	4.03129	4.42873	0.34931	23.62446
KLOBUCHAR	ineg	3.26008	2.48264	0.17041	20.33125
SUPIM	ineg	6.97637	13.11069	0.87304	40.24038
DUAL FREQUENCY	invk	0.36373	0.93296	0.54900	1.99862
IGS	invk	1.73474	1.78999	0.20698	9.81370
KLOBUCHAR	invk	2.62149	5.00680	1.58420	16.94682
SUPIM	invk	5.17253	7.99545	0.96188	20.13468

MODEL	STATION	STANDARD DEVIATION	AVERAGE	MIN	MAX
DUAL FREQUENCY	iqal	0.50721	0.81516	0.46419	2.94174
IGS	iqal	1.85143	1.91227	0.50133	8.77807
KLOBUCHAR	iqal	1.77077	3.71467	1.82904	7.65005
SUPIM	iqal	0.98138	2.11597	1.12887	4.50688
DUAL FREQUENCY	irkj	0.45024	1.19851	0.54206	1.80471
IGS	irkj	2.26210	2.54466	0.54933	11.16940
KLOBUCHAR	irkj	2.29676	3.51031	1.93228	14.61635
SUPIM	irkj	1.90018	6.97674	3.52099	14.25345
DUAL FREQUENCY	jplm	0.26095	0.45209	0.09898	1.59757
IGS	jplm	4.26293	4.54294	0.72506	22.95266
KLOBUCHAR	jplm	5.40463	3.03950	0.07882	28.49550
SUPIM	jplm	4.70169	16.12103	2.69124	32.02673
DUAL FREQUENCY	karr	0.32298	1.81939	1.48844	3.43805
IGS	karr	2.52070	6.54329	2.58975	16.19081
KLOBUCHAR	karr	2.74961	5.04265	2.14954	17.18878
SUPIM	karr	5.44663	11.66011	1.71581	22.26832
DUAL FREQUENCY	katl	0.36742	0.79317	0.62713	2.12880
IGS	katl	4.29500	8.96999	3.07843	17.64670
KLOBUCHAR	katl	2.30778	3.10504	0.65919	9.64667
SUPIM	katl	5.91452	16.82198	7.85750	25.17177
DUAL FREQUENCY	kerq	0.57360	0.59668	0.07169	3.23020
IGS	kerq	2.68158	2.59724	0.54133	15.58347
KLOBUCHAR	kerq	2.49448	3.57747	1.40892	16.02200
SUPIM	kerq	4.29992	7.02357	1.77088	17.05357
DUAL FREQUENCY	khar	0.05136	0.57178	0.50736	0.65426
IGS	khar	0.96074	2.77110	1.61710	4.61055
KLOBUCHAR	khar	2.67640	3.91389	2.32153	10.69982
SUPIM	khar	0.75885	6.52416	5.87533	8.37396
DUAL FREQUENCY	kiri	0.32514	1.19603	1.06538	2.22355
IGS	kiri	2.42400	13.02284	10.64821	19.35416
KLOBUCHAR	kiri	3.33880	4.17941	1.64454	13.91389
SUPIM	kiri	4.34768	13.81128	0.75328	19.27874
DUAL FREQUENCY	kiru	0.29856	0.61723	0.39105	2.66405
IGS	kiru	1.59850	2.52455	0.87930	10.48898
KLOBUCHAR	kiru	2.15360	4.05677	1.76080	12.59700
SUPIM	kiru	1.92998	4.01353	1.20062	12.09827
DUAL FREQUENCY	kokb	0.36395	0.92875	0.54768	2.68944
IGS	kokb	6.70625	11.04981	1.65411	39.15737
KLOBUCHAR	kokb	5.44938	5.45699	0.86439	28.00585
SUPIM	kokb	6.60112	17.71785	0.61172	31.03365
DUAL FREQUENCY	kokv	0.27406	0.92803	0.71400	2.27144
IGS	kokv	8.49403	12.78201	2.30245	36.77781
KLOBUCHAR	kokv	5.55924	5.81448	1.06586	26.85396
SUPIM	kokv	6.36215	18.20342	1.84319	29.42687
DUAL FREQUENCY	kour	0.35540	0.70410	0.40136	2.39513

MODEL	STATION	STANDARD DEVIATION	AVERAGE	MIN	MAX
IGS	kour	4.63958	6.30209	0.94345	22.24112
KLOBUCHAR	kour	2.77913	4.01032	1.04162	15.54775
SUPIM	kour	5.36755	9.14723	0.58066	22.20797
DUAL FREQUENCY	krgg	0.41823	0.52731	0.21271	2.31339
IGS	krgg	4.79889	4.58790	0.43293	15.56077
KLOBUCHAR	krgg	3.56020	3.46698	0.78887	17.79752
SUPIM	krgg	3.53892	6.22671	1.07162	18.84139
DUAL FREQUENCY	lama	0.37311	0.87456	0.41390	2.73219
IGS	lama	2.25407	3.02938	0.80140	13.50890
KLOBUCHAR	lama	2.24763	4.31872	2.14866	14.79364
SUPIM	lama	5.02768	9.14341	2.96295	24.19038
DUAL FREQUENCY	laut	0.55214	0.82721	0.33101	3.86939
IGS	laut	4.53089	4.87185	0.37245	20.67329
KLOBUCHAR	laut	3.39550	2.83015	0.21655	18.93123
SUPIM	laut	5.80147	13.72422	1.99088	25.42312
DUAL FREQUENCY	lmmf	0.55525	0.78300	0.44018	4.17773
IGS	lmmf	3.27036	4.74640	0.45109	14.99607
KLOBUCHAR	lmmf	2.65135	4.01270	1.18369	14.83142
SUPIM	lmmf	5.62503	9.71218	1.03426	27.04358
DUAL FREQUENCY	lpal	0.20626	0.76970	0.56215	1.03133
IGS	lpal	4.56293	6.75564	3.02904	14.81479
KLOBUCHAR	lpal	2.13749	4.33818	1.91829	7.12781
SUPIM	lpal	2.51466	4.72197	2.78138	8.84211
DUAL FREQUENCY	lpgs	0.67805	0.47593	0.14425	3.98742
IGS	lpgs	2.64840	3.45674	0.94703	13.42565
KLOBUCHAR	lpgs	2.77466	3.43627	0.78159	18.12364
SUPIM	lpgs	5.44420	7.88893	1.03119	21.80942
DUAL FREQUENCY	mac1	0.42354	1.09553	0.79618	4.61228
IGS	mac1	2.35680	2.26679	0.08955	18.63858
KLOBUCHAR	mac1	2.46021	2.42679	0.67622	20.74928
SUPIM	mac1	4.14903	5.18856	0.82571	22.91820
DUAL FREQUENCY	mag0	0.23216	0.67848	0.46583	1.52613
IGS	mag0	2.90381	3.43051	1.14886	16.83298
KLOBUCHAR	mag0	3.22641	5.18078	2.43610	21.30337
SUPIM	mag0	4.95065	9.06722	2.08793	23.20692
DUAL FREQUENCY	mal2	0.26873	0.64115	0.45294	1.52897
IGS	mal2	2.24896	5.40876	3.26243	12.62001
KLOBUCHAR	mal2	2.46951	4.17428	1.77457	12.21505
SUPIM	mal2	3.31457	8.45291	0.50196	13.19714
DUAL FREQUENCY	mana	0.34616	0.63149	0.40840	1.64038
IGS	mana	3.33984	3.92874	1.65552	12.30980
KLOBUCHAR	mana	1.70919	1.79220	0.60465	6.81984
SUPIM	mana	4.22793	13.41351	1.90287	19.56816
DUAL FREQUENCY	mar6	0.29334	0.78551	0.57184	1.93705
IGS	mar6	3.55965	4.32450	1.31465	15.72529

MODEL	STATION	STANDARD DEVIATION	AVERAGE	MIN	MAX
KLOBUCHAR	mar6	3.04695	5.25076	3.38500	18.32198
SUPIM	mar6	2.93173	9.13450	5.05679	16.94998
DUAL FREQUENCY	mas1	0.44879	0.68794	0.27768	3.10739
IGS	mas1	2.38865	2.78851	0.18125	12.49438
KLOBUCHAR	mas1	2.45154	2.22642	0.36785	13.96738
SUPIM	mas1	4.56322	6.52057	1.54021	19.21252
DUAL FREQUENCY	mate	0.42939	2.11290	0.77513	4.73941
IGS	mate	2.66155	3.76863	0.90564	13.37154
KLOBUCHAR	mate	2.45152	1.98130	0.24861	12.65900
SUPIM	mate	4.56677	5.86104	0.28296	17.18412
DUAL FREQUENCY	maw1	0.28466	1.07211	0.36980	2.41732
IGS	maw1	3.25932	3.58422	0.20242	20.12750
KLOBUCHAR	maw1	2.76139	5.75461	1.64991	16.53678
SUPIM	maw1	4.18686	5.74261	0.84049	20.31060
DUAL FREQUENCY	mbar	0.52126	0.51287	0.19945	3.05119
IGS	mbar	2.72347	4.12245	1.67919	13.91912
KLOBUCHAR	mbar	2.56926	4.15935	0.71476	18.07955
SUPIM	mbar	4.22539	5.90931	0.55627	18.26118
DUAL FREQUENCY	mcm4	0.42249	1.30088	0.77603	3.62357
IGS	mcm4	4.66364	4.74349	0.91594	22.24816
KLOBUCHAR	mcm4	3.44240	5.19595	1.10606	19.44715
SUPIM	mcm4	3.43961	10.71013	1.33490	22.91345
DUAL FREQUENCY	mdo1	0.49830	0.33085	0.10680	2.33656
IGS	mdo1	1.79895	3.11730	1.66109	9.54473
KLOBUCHAR	mdo1	2.46085	1.99859	0.19713	11.71110
SUPIM	mdo1	8.46545	9.91265	2.02975	29.03102
DUAL FREQUENCY	mdvj	0.97632	1.96944	0.47765	3.01039
IGS	mdvj	1.90068	3.25589	1.26189	14.90052
KLOBUCHAR	mdvj	2.59726	2.38311	0.74994	18.04785
SUPIM	mdvj	2.34707	3.44916	0.75839	14.34037
DUAL FREQUENCY	medi	NA	4.26492	4.26492	4.26492
IGS	medi	NA	0.54512	0.54512	0.54512
KLOBUCHAR	medi	NA	3.06946	3.06946	3.06946
SUPIM	medi	NA	4.37885	4.37885	4.37885
DUAL FREQUENCY	mets	0.11226	0.82645	0.64889	1.19601
IGS	mets	0.65086	2.61507	1.80210	3.97110
KLOBUCHAR	mets	1.29617	4.14668	1.97799	7.85247
SUPIM	mets	1.52304	5.15481	2.07582	7.05130
DUAL FREQUENCY	mgue	0.51142	0.46378	0.15648	3.22742
IGS	mgue	4.19558	7.03340	2.80244	18.77981
KLOBUCHAR	mgue	3.95280	4.32381	1.23709	15.03121
SUPIM	mgue	7.40666	12.37301	1.34365	23.75954
DUAL FREQUENCY	mizu	0.29950	4.07674	3.88130	4.96857
IGS	mizu	4.02386	3.95163	1.64459	15.97970
KLOBUCHAR	mizu	2.94031	6.63544	3.78540	13.78833

MODEL	STATION	STANDARD DEVIATION	AVERAGE	MIN	MAX
SUPIM	mizu	2.87884	17.38547	14.75399	25.10250
DUAL FREQUENCY	mkea	0.56256	0.57144	0.23973	3.67517
IGS	mkea	6.55895	9.47854	1.26260	27.27902
KLOBUCHAR	mkea	4.51604	5.53924	1.46503	29.28869
SUPIM	mkea	6.87252	18.20454	2.76471	35.76938
DUAL FREQUENCY	nano	0.39263	0.54261	0.20652	2.64444
IGS	nano	2.33861	2.58875	0.55666	17.58940
KLOBUCHAR	nano	3.16759	2.24373	0.09358	20.27494
SUPIM	nano	4.73718	7.26076	0.85410	23.01933
DUAL FREQUENCY	naur	0.19473	1.21628	1.03625	1.95430
IGS	naur	5.14475	12.53923	3.93606	25.34641
KLOBUCHAR	naur	4.10659	3.66899	0.72807	21.02609
SUPIM	naur	6.12286	22.29046	1.06265	29.08332
DUAL FREQUENCY	nico	0.46816	2.57902	1.05748	4.84866
IGS	nico	3.53759	5.90048	1.09302	15.62807
KLOBUCHAR	nico	2.70152	5.84866	1.24988	15.64550
SUPIM	nico	4.03981	6.59122	2.71633	18.55179
DUAL FREQUENCY	nium	0.05198	4.70291	4.55478	4.73485
IGS	nium	3.35498	7.91442	4.85831	13.57917
KLOBUCHAR	nium	1.68726	5.89580	4.78724	10.76093
SUPIM	nium	3.73684	18.95088	14.85761	25.43201
DUAL FREQUENCY	nklg	0.58570	0.82517	0.31464	3.84120
IGS	nklg	1.51713	2.31471	0.64651	9.34779
KLOBUCHAR	nklg	1.49942	3.32794	1.71213	9.81489
SUPIM	nklg	2.99565	4.86874	1.26441	13.61660
DUAL FREQUENCY	nlib	0.34212	0.57306	0.39107	2.22933
IGS	nlib	1.79891	2.50242	1.25639	8.49793
KLOBUCHAR	nlib	2.46310	1.51307	0.28261	12.98558
SUPIM	nlib	2.13782	2.77576	1.41624	11.61830
DUAL FREQUENCY	not1	0.40720	1.38827	1.08851	3.71773
IGS	not1	3.35541	4.52818	1.46118	16.58310
KLOBUCHAR	not1	2.08076	3.28242	0.65629	14.71825
SUPIM	not1	5.32860	5.57675	1.55140	19.34280
DUAL FREQUENCY	novm	1.25013	2.01624	0.54450	4.51929
IGS	novm	2.12913	4.06504	1.59518	15.59588
KLOBUCHAR	novm	2.77081	3.40101	0.43752	20.70875
SUPIM	novm	3.09443	6.62660	1.32905	15.01628
DUAL FREQUENCY	nrc1	0.36758	0.58634	0.01970	2.58638
IGS	nrc1	2.43390	2.36883	0.38315	18.37303
KLOBUCHAR	nrc1	2.23159	2.28079	0.39754	13.99240
SUPIM	nrc1	4.01510	7.70126	1.49141	25.80490
DUAL FREQUENCY	nril	0.39424	0.76192	0.43639	2.81395
IGS	nril	1.73202	2.68977	1.06768	10.23794
KLOBUCHAR	nril	1.90658	2.76993	0.58732	10.18487
SUPIM	nril	2.17394	5.15513	1.28830	11.31211

MODEL	STATION	STANDARD DEVIATION	AVERAGE	MIN	MAX
DUAL FREQUENCY	ntus	0.37044	0.76710	0.10660	3.28019
IGS	ntus	3.38592	8.52300	2.64604	14.46990
KLOBUCHAR	ntus	1.88642	4.18643	1.39600	12.27343
SUPIM	ntus	6.00491	10.90449	0.52945	20.86588
DUAL FREQUENCY	nya1	0.23575	0.82198	0.57361	1.93154
IGS	nya1	2.68585	3.45320	1.19977	18.34913
KLOBUCHAR	nya1	2.87701	5.28459	1.88922	20.74011
SUPIM	nya1	2.82314	4.19060	0.83987	15.71036
DUAL FREQUENCY	nya2	0.25232	0.63439	0.43917	1.47570
IGS	nya2	1.21553	2.26483	1.08454	5.99611
KLOBUCHAR	nya2	2.19194	6.75754	4.66702	12.79240
SUPIM	nya2	1.00654	2.06770	0.79056	4.58263
DUAL FREQUENCY	ohi2	0.27100	1.62024	0.56173	2.97393
IGS	ohi2	2.62364	2.91138	0.97444	14.39632
KLOBUCHAR	ohi2	2.22939	4.72122	3.02399	18.74197
SUPIM	ohi2	2.85393	4.43322	1.07395	14.58391
DUAL FREQUENCY	ohi3	0.28942	0.56687	0.30250	2.39543
IGS	ohi3	2.18144	2.95160	0.87475	11.09705
KLOBUCHAR	ohi3	3.01364	3.58796	1.49285	18.09383
SUPIM	ohi3	3.47682	5.52088	0.85195	17.28152
DUAL FREQUENCY	onsa	0.29200	0.78207	0.47289	2.45177
IGS	onsa	2.65882	3.08976	0.89074	17.15246
KLOBUCHAR	onsa	2.27676	4.51684	1.85699	18.08019
SUPIM	onsa	5.33360	7.95369	1.51165	20.67888
DUAL FREQUENCY	opmt	0.34901	0.46885	0.14992	2.00994
IGS	opmt	2.89904	2.89050	0.96257	17.63653
KLOBUCHAR	opmt	2.29571	3.97386	1.93741	18.24293
SUPIM	opmt	5.45148	5.52399	1.51546	21.14197
DUAL FREQUENCY	park	0.36423	0.41215	0.15363	1.68932
IGS	park	1.67244	2.65614	0.40948	8.08000
KLOBUCHAR	park	2.78255	2.63133	0.08993	16.20688
SUPIM	park	2.49812	3.73200	0.23364	8.06150
DUAL FREQUENCY	pbri	0.31532	0.94808	0.72245	2.14199
IGS	pbri	3.30002	4.97452	0.80785	9.13286
KLOBUCHAR	pbri	2.69008	3.78491	1.38889	10.95651
SUPIM	pbri	5.85590	6.42896	0.80309	13.54504
DUAL FREQUENCY	pdel	0.34829	0.76873	0.46852	2.59603
IGS	pdel	3.03607	3.53741	0.73574	16.95267
KLOBUCHAR	pdel	3.18206	3.20908	0.82792	21.45807
SUPIM	pdel	4.75714	7.23713	0.86246	25.18465
DUAL FREQUENCY	penc	0.44017	1.07123	0.84476	2.21684
IGS	penc	4.08036	2.22975	0.50047	13.92535
KLOBUCHAR	penc	3.40243	4.44781	2.89699	14.67071
SUPIM	penc	3.38069	6.66627	4.68039	15.91246
DUAL FREQUENCY	pert	0.17500	1.80416	0.83052	2.48183

MODEL	STATION	STANDARD DEVIATION	AVERAGE	MIN	MAX
IGS	pert	2.90405	4.10006	1.31657	16.25613
KLOBUCHAR	pert	2.74687	4.73678	2.16978	17.82687
SUPIM	pert	5.59682	9.90134	1.61732	21.63828
DUAL FREQUENCY	picl	0.38383	0.36644	0.13305	1.88314
IGS	picl	1.37307	2.19308	1.08820	6.95974
KLOBUCHAR	picl	1.65358	1.74688	0.52009	7.30248
SUPIM	picl	3.47243	7.00049	0.95493	13.83978
DUAL FREQUENCY	pie1	0.50518	0.41425	0.14200	2.76922
IGS	pie1	1.78519	2.74471	0.29430	10.42715
KLOBUCHAR	pie1	1.81954	1.75251	0.33456	9.88840
SUPIM	pie1	3.61696	7.88158	2.29381	15.91421
DUAL FREQUENCY	pimo	0.45731	0.72017	0.32938	2.72635
IGS	pimo	5.90683	9.11176	0.68161	22.16008
KLOBUCHAR	pimo	3.68079	4.93345	1.61902	19.84022
SUPIM	pimo	8.73558	15.59038	0.77295	26.14901
DUAL FREQUENCY	pin1	0.14835	0.94891	0.84578	1.37753
IGS	pin1	1.95930	4.33169	3.24303	9.78513
KLOBUCHAR	pin1	0.90791	1.64579	0.61844	2.79001
SUPIM	pin1	1.85686	5.09096	3.82747	9.76747
DUAL FREQUENCY	pngm	0.39171	1.31430	0.57042	3.88806
IGS	pngm	4.93340	14.61230	5.49077	25.26560
KLOBUCHAR	pngm	3.86415	4.27760	0.65607	21.67575
SUPIM	pngm	3.55463	17.14322	11.28535	22.16611
DUAL FREQUENCY	pol2	0.37589	0.65186	0.26138	2.02118
IGS	pol2	2.39130	3.43679	1.39187	11.74101
KLOBUCHAR	pol2	2.10622	1.97046	0.15525	9.29553
SUPIM	pol2	2.28174	3.92878	0.89521	10.83007
DUAL FREQUENCY	pots	0.36918	0.48505	0.16374	2.10314
IGS	pots	2.72529	3.21270	1.05099	17.85947
KLOBUCHAR	pots	2.57638	4.15976	1.70586	18.94320
SUPIM	pots	4.08512	6.33403	0.58684	17.08068
DUAL FREQUENCY	prds	0.47656	0.61434	0.30107	3.69187
IGS	prds	2.27261	2.52909	0.76983	17.22473
KLOBUCHAR	prds	2.71047	2.06427	0.23842	14.51052
SUPIM	prds	3.27629	5.11427	1.25165	16.56686
DUAL FREQUENCY	ptbb	0.33722	0.49833	0.15961	2.94964
IGS	ptbb	2.61653	3.03750	0.63913	16.71810
KLOBUCHAR	ptbb	2.22527	3.96149	2.28058	17.42626
SUPIM	ptbb	5.04822	7.06756	1.52126	17.18444
DUAL FREQUENCY	qaq1	0.59177	1.81135	0.65352	3.09908
IGS	qaq1	2.75827	3.14172	0.36562	19.17254
KLOBUCHAR	qaq1	2.68753	2.88407	0.69740	19.03867
SUPIM	qaq1	2.94196	4.47892	0.31591	17.05628
DUAL FREQUENCY	rabt	0.28790	0.34474	0.23237	1.25760
IGS	rabt	0.54150	1.71775	0.99286	3.29237

MODEL	STATION	STANDARD DEVIATION	AVERAGE	MIN	MAX
KLOBUCHAR SUPIM	rabt	0.57087	1.90438	0.92343	2.96422
	rabt	0.22684	1.40383	1.04805	2.00862
DUAL FREQUENCY IGS KLOBUCHAR SUPIM	ramo	0.42546	0.62827	0.41828	2.74159
	ramo	2.22337	3.95108	1.84423	12.95033
	ramo	3.42341	4.06438	0.86133	13.37786
	ramo	2.31925	3.65525	1.34728	12.00091
DUAL FREQUENCY IGS KLOBUCHAR SUPIM	rbay	0.33694	0.32744	0.07893	1.62746
	rbay	2.17499	3.42678	0.66556	12.99363
	rbay	2.71968	4.49676	1.30058	13.86011
	rbay	2.30756	8.30437	2.10529	14.09893
DUAL FREQUENCY IGS KLOBUCHAR SUPIM	reun	0.44485	0.66881	0.17767	3.21278
	reun	1.66150	3.01517	1.06725	11.43790
	reun	2.69947	3.12223	0.62550	14.61509
	reun	2.96645	5.73769	1.64946	17.07865
DUAL FREQUENCY IGS KLOBUCHAR SUPIM	reyk	0.33906	0.77210	0.15778	2.98042
	reyk	1.66412	2.62685	0.73426	12.25471
	reyk	2.48633	4.81456	1.32760	18.96012
	reyk	3.12596	5.63010	1.17780	16.26627
DUAL FREQUENCY IGS KLOBUCHAR SUPIM	rio2	0.35372	0.64349	0.40275	2.17550
	rio2	3.41276	3.38558	0.28089	15.61136
	rio2	2.35336	3.99763	2.19641	14.70927
	rio2	3.99666	8.40791	0.93624	18.25110
DUAL FREQUENCY IGS KLOBUCHAR SUPIM	riop	0.78624	0.75919	0.40573	2.16566
	riop	7.41957	7.06082	1.81439	12.30724
	riop	5.15142	8.05155	4.40895	11.69416
	riop	8.88060	10.24943	0.77536	21.12170
DUAL FREQUENCY IGS KLOBUCHAR SUPIM	sant	0.41831	0.55911	0.28692	2.27685
	sant	4.19639	4.19203	0.34794	19.54382
	sant	3.19073	3.47983	1.24546	16.70499
	sant	6.21197	12.38230	1.38445	28.16037
DUAL FREQUENCY IGS KLOBUCHAR SUPIM	sch2	0.18908	0.60476	0.32524	1.65068
	sch2	2.97942	2.74266	0.47657	19.93398
	sch2	2.54215	2.87137	1.22207	14.27935
	sch2	4.90606	5.40592	0.31847	22.09445
DUAL FREQUENCY IGS KLOBUCHAR SUPIM	scor	0.55081	1.26556	0.40906	3.15755
	scor	1.21415	2.82310	1.37724	7.98226
	scor	1.61079	3.32024	0.83987	11.53599
	scor	1.55431	3.61280	0.63379	10.76607
DUAL FREQUENCY IGS KLOBUCHAR SUPIM	scub	0.51602	0.39423	0.13962	2.22460
	scub	2.85437	2.12327	0.59459	14.19769
	scub	2.91930	2.79498	1.33231	14.76475
	scub	3.69833	10.84872	7.24986	20.58512
DUAL FREQUENCY IGS KLOBUCHAR	seyg	0.44062	0.44557	0.15573	2.35031
	seyg	1.55960	3.30225	0.96974	11.36633
	seyg	2.69363	3.97601	0.80555	14.98987

MODEL	STATION	STANDARD DEVIATION	AVERAGE	MIN	MAX
SUPIM	seyg	2.85474	5.40157	0.55557	12.79619
DUAL FREQUENCY	sfer	0.37560	3.28418	1.49241	4.80922
IGS	sfer	2.24364	4.86414	2.17019	13.23741
KLOBUCHAR	sfer	2.16983	4.06195	2.52689	12.76476
SUPIM	sfer	2.79014	6.06630	2.82746	18.72564
DUAL FREQUENCY	shao	0.23910	0.61716	0.40023	2.09401
IGS	shao	4.29797	6.98869	0.72791	17.61629
KLOBUCHAR	shao	2.82840	4.22809	1.29822	13.10765
SUPIM	shao	5.82487	8.76421	1.35316	18.51026
DUAL FREQUENCY	sofi	0.40634	0.86628	0.55765	2.43286
IGS	sofi	1.52730	5.77088	3.70163	8.10300
KLOBUCHAR	sofi	2.36634	3.94680	2.42187	9.84391
SUPIM	sofi	0.96826	6.92265	5.89044	9.65623
DUAL FREQUENCY	solo	0.78036	1.19315	0.90661	3.67000
IGS	solo	1.71374	10.79362	8.29936	12.75983
KLOBUCHAR	solo	5.56407	5.58214	0.53213	17.05840
SUPIM	solo	2.03414	2.64584	0.78651	8.68327
DUAL FREQUENCY	spt0	0.35295	0.78714	0.40923	2.62839
IGS	spt0	2.80095	3.21918	0.97739	16.82380
KLOBUCHAR	spt0	2.33762	4.94461	2.47699	18.21773
SUPIM	spt0	5.02654	8.28540	1.25187	20.78432
DUAL FREQUENCY	ssia	0.31236	0.77633	0.66217	1.66421
IGS	ssia	4.39327	6.73908	3.52994	16.91322
KLOBUCHAR	ssia	4.01970	3.93206	1.36210	13.07515
SUPIM	ssia	2.88443	12.77600	10.58168	18.40989
DUAL FREQUENCY	sthl	0.52436	0.47538	0.27414	3.96506
IGS	sthl	2.47756	3.38811	1.07529	15.06319
KLOBUCHAR	sthl	1.48781	2.20576	0.31740	6.30567
SUPIM	sthl	6.00960	7.65192	1.39395	22.20108
DUAL FREQUENCY	stjo	0.19664	0.63253	0.34733	1.85933
IGS	stjo	3.31519	3.03471	0.91169	21.27854
KLOBUCHAR	stjo	2.36083	3.13778	1.35327	14.47269
SUPIM	stjo	3.91246	6.57036	1.63837	18.09253
DUAL FREQUENCY	suth	0.22706	0.51482	0.37586	1.73144
IGS	suth	1.71524	1.98572	0.97756	12.67445
KLOBUCHAR	suth	2.56667	2.08341	0.30669	16.40087
SUPIM	suth	2.81333	4.56147	1.80106	18.43940
DUAL FREQUENCY	sutm	0.38526	0.60031	0.33228	3.04150
IGS	sutm	1.32371	2.26986	0.82961	6.93353
KLOBUCHAR	sutm	1.83156	3.01902	0.32886	8.61735
SUPIM	sutm	1.69297	2.79785	0.50871	8.51740
DUAL FREQUENCY	svtl	0.31633	1.39902	0.73569	2.76475
IGS	svtl	3.20435	2.88170	1.35698	15.46733
KLOBUCHAR	svtl	3.50376	3.19378	1.57884	19.20264
SUPIM	svtl	3.65202	4.43064	1.91839	18.87286

MODEL	STATION	STANDARD DEVIATION	AVERAGE	MIN	MAX
DUAL FREQUENCY	sydn	0.27071	1.51715	1.41274	2.36782
IGS	sydn	1.18009	2.58439	1.91874	6.28468
KLOBUCHAR	sydn	2.01542	2.34779	1.45778	8.36055
SUPIM	sydn	2.13622	5.95415	4.14513	11.53077
DUAL FREQUENCY	syog	0.34494	0.98190	0.46668	3.07560
IGS	syog	2.97979	2.46233	0.46820	22.57457
KLOBUCHAR	syog	2.85249	4.07199	0.81114	18.61432
SUPIM	syog	3.23241	3.51399	0.26569	22.30700
DUAL FREQUENCY	tash	0.51393	0.67362	0.17602	3.12476
IGS	tash	2.40924	3.89971	1.31989	12.23213
KLOBUCHAR	tash	2.47810	2.48981	0.38069	13.42920
SUPIM	tash	3.27806	4.25895	0.57297	16.01412
DUAL FREQUENCY	thti	0.70707	1.61397	1.13982	3.33606
IGS	thti	3.73093	10.69763	6.34617	18.30230
KLOBUCHAR	thti	3.67763	8.72017	4.58432	16.37354
SUPIM	thti	1.87818	21.01875	18.97127	25.03326
DUAL FREQUENCY	tid1	0.26309	1.54590	1.41512	3.15571
IGS	tid1	2.68008	3.72961	1.32786	14.44724
KLOBUCHAR	tid1	2.81102	3.09186	1.34537	19.51742
SUPIM	tid1	4.87705	7.09979	0.81995	21.62181
DUAL FREQUENCY	tidb	0.33445	0.99076	0.68670	2.61475
IGS	tidb	1.90554	2.69980	1.03931	10.04957
KLOBUCHAR	tidb	1.89865	2.22174	0.84544	8.75745
SUPIM	tidb	2.92765	6.32673	0.87652	13.62344
DUAL FREQUENCY	tlse	0.31654	1.77015	1.15383	3.17281
IGS	tlse	2.82536	3.97210	0.80176	12.92995
KLOBUCHAR	tlse	1.94091	4.17704	1.17878	13.16734
SUPIM	tlse	7.11005	9.88341	2.91053	26.56382
DUAL FREQUENCY	tow2	0.19068	1.65016	1.47239	2.74491
IGS	tow2	3.04536	5.33037	1.31365	17.01852
KLOBUCHAR	tow2	3.06094	3.61019	1.42790	21.52863
SUPIM	tow2	6.43997	10.84683	1.26915	27.63301
DUAL FREQUENCY	tro1	0.31631	0.82515	0.34657	2.45607
IGS	tro1	2.06390	3.06107	0.83981	15.95178
KLOBUCHAR	tro1	2.72118	4.74000	1.74144	18.40274
SUPIM	tro1	2.58613	4.34965	0.48066	15.95090
DUAL FREQUENCY	tskb	0.27798	1.14269	0.81469	2.55480
IGS	tskb	4.42839	7.06851	0.66603	19.49082
KLOBUCHAR	tskb	3.51836	5.13070	1.34769	16.00543
SUPIM	tskb	7.32742	11.02184	0.90663	31.62337
DUAL FREQUENCY	twtf	0.52958	1.50766	0.89503	2.84070
IGS	twtf	4.93319	9.63627	1.08377	16.83915
KLOBUCHAR	twtf	3.40685	4.54643	0.59842	12.46262
SUPIM	twtf	6.65892	13.81004	1.66644	20.99677
DUAL FREQUENCY	ulab	0.36920	0.60067	0.39718	2.90524

MODEL	STATION	STANDARD DEVIATION	AVERAGE	MIN	MAX
IGS	ulab	3.00554	3.31113	0.75981	21.98912
KLOBUCHAR	ulab	2.62165	3.15478	0.48801	15.72827
SUPIM	ulab	3.54511	5.86727	1.08434	16.23082
DUAL FREQUENCY	unsa	0.56598	0.47283	0.16091	2.73245
IGS	unsa	4.74634	4.36176	0.44670	22.09450
KLOBUCHAR	unsa	3.16799	4.02486	1.00070	21.44270
SUPIM	unsa	5.62128	11.78557	2.35387	27.17124
DUAL FREQUENCY	usn7	0.61698	0.63578	0.39685	3.37673
IGS	usn7	2.62514	3.78233	0.43737	11.44292
KLOBUCHAR	usn7	1.45297	2.21647	0.80220	5.76557
SUPIM	usn7	3.48901	7.29819	2.79341	12.59905
DUAL FREQUENCY	usud	0.41162	0.75845	0.20633	2.88687
IGS	usud	4.48128	5.53066	1.04357	25.07816
KLOBUCHAR	usud	3.56069	4.31032	0.49053	15.85498
SUPIM	usud	5.08724	10.27916	2.12466	24.85266
DUAL FREQUENCY	vacs	0.36658	2.14641	1.26921	3.68001
IGS	vacs	1.41390	4.03302	2.48561	9.10188
KLOBUCHAR	vacs	2.80161	3.76002	1.66185	14.18521
SUPIM	vacs	1.44849	5.02549	1.63724	7.86227
DUAL FREQUENCY	vald	0.49759	0.50236	0.33917	2.00234
IGS	vald	1.47898	2.93237	2.12606	7.19182
KLOBUCHAR	vald	2.41143	3.04394	1.59744	10.06897
SUPIM	vald	2.67857	5.01445	2.73495	11.94094
DUAL FREQUENCY	vill	0.30446	0.60988	0.17243	2.34194
IGS	vill	2.84192	3.49770	0.58214	15.69968
KLOBUCHAR	vill	2.60287	2.98282	0.36174	17.59455
SUPIM	vill	5.20338	6.41826	0.33890	20.20080
DUAL FREQUENCY	wab2	0.39758	0.30088	0.03446	2.42057
IGS	wab2	2.62853	2.94775	0.55178	15.91105
KLOBUCHAR	wab2	2.61091	3.78409	1.43220	16.30140
SUPIM	wab2	4.49564	5.99051	0.49174	20.02867
DUAL FREQUENCY	wes2	0.37498	2.03587	1.65201	3.29048
IGS	wes2	2.53609	4.28122	2.21516	11.91741
KLOBUCHAR	wes2	2.33352	4.75923	2.47711	11.41760
SUPIM	wes2	2.46085	3.81381	1.35770	10.78357
DUAL FREQUENCY	whit	0.33398	0.56122	0.31468	2.10269
IGS	whit	2.03807	2.02934	0.05566	11.24044
KLOBUCHAR	whit	2.55682	3.15821	1.09463	17.44019
SUPIM	whit	3.28641	5.79232	0.29256	15.13867
DUAL FREQUENCY	wind	0.50363	0.64643	0.37762	3.36550
IGS	wind	2.26314	2.78172	0.67476	12.95184
KLOBUCHAR	wind	2.64471	3.65199	1.73978	16.72114
SUPIM	wind	3.96852	6.97789	0.63621	17.81948
DUAL FREQUENCY	wsrt	0.44154	0.86146	0.48562	2.89865
IGS	wsrt	0.80208	2.31910	1.11436	5.25677

MODEL	STATION	STANDARD DEVIATION	AVERAGE	MIN	MAX
KLOBUCHAR	wsrt	1.23964	4.18157	2.40993	8.42994
SUPIM	wsrt	6.34763	6.56515	1.26096	20.51958
DUAL FREQUENCY	wtza	0.35349	0.53669	0.36933	1.65593
IGS	wtza	4.16124	7.00057	2.58481	15.67638
KLOBUCHAR	wtza	4.21263	4.33852	2.33726	16.98570
SUPIM	wtza	0.40616	1.24683	1.00184	2.33899
DUAL FREQUENCY	wtzr	0.20411	2.88743	1.71032	3.51912
IGS	wtzr	1.63597	3.68969	1.65929	13.61342
KLOBUCHAR	wtzr	2.20391	4.19244	2.68708	17.50519
SUPIM	wtzr	3.63133	5.25479	0.79095	17.48030
DUAL FREQUENCY	xmis	0.28011	1.74401	0.92975	3.53300
IGS	xmis	3.31263	7.49337	1.31748	16.59855
KLOBUCHAR	xmis	2.10247	4.39100	0.36747	12.32261
SUPIM	xmis	5.92050	11.59547	1.91764	20.12237
DUAL FREQUENCY	yakt	0.17563	0.70630	0.56591	1.47919
IGS	yakt	3.73716	3.48278	0.24724	17.86839
KLOBUCHAR	yakt	3.76239	4.73535	1.84471	22.00533
SUPIM	yakt	7.23639	7.68732	0.66819	25.74533
DUAL FREQUENCY	yar2	0.20407	1.71767	0.69546	2.85870
IGS	yar2	3.18702	4.24423	1.31915	16.74983
KLOBUCHAR	yar2	2.76322	4.23287	1.76884	18.68372
SUPIM	yar2	5.67402	10.66410	1.67143	22.61105
DUAL FREQUENCY	yebe	0.31674	0.78730	0.61667	1.72246
IGS	yebe	3.38603	6.14544	3.50345	15.10850
KLOBUCHAR	yebe	4.81913	4.10780	1.80731	18.16018
SUPIM	yebe	1.11668	17.72560	16.61985	20.86986
DUAL FREQUENCY	yel2	0.31881	0.47920	0.30688	1.38200
IGS	yel2	2.22155	2.80095	1.87741	9.47373
KLOBUCHAR	yel2	0.96542	2.84303	1.77653	5.42096
SUPIM	yel2	2.60932	9.80477	8.53566	17.53749
DUAL FREQUENCY	yell	0.37132	0.75098	0.41496	2.62890
IGS	yell	1.73249	2.24033	0.66796	10.32428
KLOBUCHAR	yell	2.54032	3.41816	0.97914	17.50288
SUPIM	yell	4.47491	7.35557	0.31075	16.71510
DUAL FREQUENCY	yssk	0.31460	0.58567	0.34296	2.25440
IGS	yssk	2.22485	2.63392	0.31428	10.69669
KLOBUCHAR	yssk	3.43133	4.75877	1.32701	18.90824
SUPIM	yssk	4.18105	12.21946	1.96943	22.24826
DUAL FREQUENCY	zamb	0.33603	0.57505	0.31389	2.22153
IGS	zamb	1.92045	3.07850	0.84843	10.62536
KLOBUCHAR	zamb	2.58668	3.90958	0.84525	15.86247
SUPIM	zamb	5.13395	7.48629	0.64876	21.70355
DUAL FREQUENCY	zeck	0.92034	2.38406	0.74201	3.98030
IGS	zeck	2.16838	4.34506	1.25561	12.37020
KLOBUCHAR	zeck	1.87461	2.16559	0.15431	12.00397

MODEL	STATION	STANDARD DEVIATION	AVERAGE	MIN	MAX
SUPIM	zeck	3.51723	4.79827	1.01319	16.86645
DUAL FREQUENCY	zimm	0.15675	0.78853	0.66815	1.25450
IGS	zimm	3.99419	7.18554	4.19559	17.20384
KLOBUCHAR	zimm	4.22140	4.38712	2.14362	17.18620
SUPIM	zimm	4.43395	14.48786	1.84748	20.98510

APÊNDICE B – ARQUIVO DE CONFIGURAÇÃO PARA FREQUÊNCIA DUPLA

```
1 # rtkpost options (2019/09/29 22:31:29, v.2.4.3 b33)
2
3 pos1-posmode      =ppp-static # (0: single ,1: dgps ,2: kinematic ,3: static ,4: movingbase ,5: fixed ,6: ppp-kine ,7: ppp-static ,8: ppp-
   fixed)
4 pos1-frequency    =11+12      # (1: 11 ,2: 11+12 ,3: 11+12+15 ,4: 11+15)
5 pos1-soltype      =forward    # (0: forward ,1: backward ,2: combined)
6 pos1-elmask       =10         # (deg)
7 pos1-snrmask_r    =off        # (0: off ,1: on)
8 pos1-snrmask_b    =off        # (0: off ,1: on)
9 pos1-snrmask_L1   =0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
10 pos1-snrmask_L2   =0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
11 pos1-snrmask_L5   =0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
12 pos1-dynamics     =off        # (0: off ,1: on)
13 pos1-tidecorr     =on         # (0: off ,1: on ,2: ot1)
14 pos1-ionoopt      =dual-freq  # (0: off ,1: brdc ,2: sbas ,3: dual-freq ,4: est-stec ,5: ionex-tec ,6: qzs-brdc ,7: qzs-lex ,8: stec)
15 pos1-tropopt      =saas       # (0: off ,1: saas ,2: sbas ,3: est-ztd ,4: est-ztdgrad ,5: ztd)
16 pos1-sateph       =precise    # (0: brdc ,1: precise ,2: brdc+sbas ,3: brdc+ssrapc ,4: brdc+ssrcom)
17 pos1-posopt1      =on         # (0: off ,1: on)
18 pos1-posopt2      =on         # (0: off ,1: on)
19 pos1-posopt3      =on         # (0: off ,1: on ,2: precise)
20 pos1-posopt4      =off        # (0: off ,1: on)
21 pos1-posopt5      =off        # (0: off ,1: on)
22 pos1-posopt6      =off        # (0: off ,1: on)
23 pos1-exclsats     =          # (prn ...)
24 pos1-navsys       =1         # (1: gps+2: sbas+4: glo+8: gal+16: qzs+32: comp)
25 pos2-armode       =off        # (0: off ,1: continuous ,2: instantaneous ,3: fix-and-hold)
26 pos2-gloarmode    =on        # (0: off ,1: on ,2: autocal)
27 pos2-bdsarmode    =on        # (0: off ,1: on)
28 pos2-arthres      =3
29 pos2-arthres1     =0.9999
30 pos2-arthres2     =0.25
31 pos2-arthres3     =0.1
32 pos2-arthres4     =0.05
33 pos2-arlockcnt    =0
34 pos2-arelmask     =0         # (deg)
35 pos2-arminfix     =10
36 pos2-armaxiter    =1
37 pos2-elmaskhold   =0         # (deg)
38 pos2-aroutcnt     =5
39 pos2-maxage       =30        # (s)
40 pos2-syncsol      =off        # (0: off ,1: on)
41 pos2-slipthres    =0.05      # (m)
42 pos2-rejionno     =30        # (m)
43 pos2-rejgdop      =30
44 pos2-niter        =1
45 pos2-baselen      =0         # (m)
46 pos2-basesig      =0         # (m)
47 out-solformat     =xyz       # (0: llh ,1: xyz ,2: enu ,3: nmea)
48 out-outhead       =on        # (0: off ,1: on)
49 out-outopt        =on        # (0: off ,1: on)
50 out-outvel        =off       # (0: off ,1: on)
51 out-timesys       =utc       # (0: gpst ,1: utc ,2: jst)
52 out-timeform      =hms       # (0: tow ,1: hms)
53 out-timendec      =3
54 out-degform       =deg       # (0: deg ,1: dms)
55 out-fieldsep      =
56 out-outsingl      =off       # (0: off ,1: on)
57 out-maxsolstd     =0         # (m)
58 out-height        =ellipsoidal # (0: ellipsoidal ,1: geodetic)
59 out-geoid         =internal  # (0: internal ,1: egm96 ,2: egm08_2.5 ,3: egm08_1 ,4: gsi2000)
60 out-solstatic     =all       # (0: all ,1: single)
61 out-nmeaintv1     =0         # (s)
62 out-nmeaintv2     =0         # (s)
63 out-outstat       =off       # (0: off ,1: state ,2: residual)
64 stats-eratio1     =100
65 stats-eratio2     =100
66 stats-errphase    =0.003     # (m)
67 stats-errphaseel  =0.003     # (m)
68 stats-errphasebl  =0         # (m/10km)
69 stats-errdoppler  =10        # (Hz)
70 stats-stdbias     =30        # (m)
71 stats-stdiono     =0.03      # (m)
72 stats-stdtrop     =0.3       # (m)
73 stats-prnaccelh   =10        # (m/s^2)
74 stats-prnaccelv   =10        # (m/s^2)
```

```

75 stats-prnbias      =0.0001      # (m)
76 stats-prniono     =0.001       # (m)
77 stats-prntrop      =0.0001      # (m)
78 stats-prnpos       =0           # (m)
79 stats-clkstab      =5e-12       # (s/s)
80 ant1-postype       =1lh         # (0:1lh,1:xyz,2:single,3:posfile,4:rinxhead,5:rtcm,6:raw)
81 ant1-pos1          =90          # (deg|lm)
82 ant1-pos2          =0           # (deg|lm)
83 ant1-pos3          =-6335367.6285 # (mlm)
84 ant1-anttype       =*
85 ant1-antdele       =0           # (m)
86 ant1-antdeln       =0           # (m)
87 ant1-antdelu       =0           # (m)
88 ant2-postype       =1lh         # (0:1lh,1:xyz,2:single,3:posfile,4:rinxhead,5:rtcm,6:raw)
89 ant2-pos1          =90          # (deg|lm)
90 ant2-pos2          =0           # (deg|lm)
91 ant2-pos3          =-6335367.6285 # (mlm)
92 ant2-anttype       =
93 ant2-antdele       =0           # (m)
94 ant2-antdeln       =0           # (m)
95 ant2-antdelu       =0           # (m)
96 ant2-maxaveep      =0
97 ant2-initrst       =off         # (0:off,1:on)
98 misc-timeinterp    =off         # (0:off,1:on)
99 misc-sbasatsel     =0           # (0:all)
100 misc-rnxopt1       =
101 misc-rnxopt2       =
102 misc-pppopt        =
103 file-satantfile     =igs14_2030.atx
104 file-rcvantfile     =igs14_2030.atx
105 file-staposfile     =
106 file-geoidfile      =
107 file-ionofile       =
108 file-dcbfile        =
109 file-eopfile        =
110 file-blqfile        =
111 file-tempdir        =
112 file-geexefile      =
113 file-solstatfile    =
114 file-tracefile      =

```


APÊNDICE C – ARQUIVO DE CONFIGURAÇÃO PARA MODELO DE KLOBUCHAR

```

1 # rtkpost options (2019/09/29 22:31:48, v.2.4.3 b33)
2
3 pos1-posmode      =ppp-static # (0: single ,1: dgps ,2: kinematic ,3: static ,4: movingbase ,5: fixed ,6: ppp-kine ,7: ppp-static ,8: ppp-
   fixed)
4 pos1-frequency    =11         # (1:11 ,2:11+12 ,3:11+12+15 ,4:11+15)
5 pos1-soltype      =forward    # (0: forward ,1: backward ,2: combined)
6 pos1-elmask       =10         # (deg)
7 pos1-snrmask_r    =off        # (0: off ,1: on)
8 pos1-snrmask_b    =off        # (0: off ,1: on)
9 pos1-snrmask_L1   =0,0,0,0,0,0,0,0,0
10 pos1-snrmask_L2   =0,0,0,0,0,0,0,0,0
11 pos1-snrmask_L5   =0,0,0,0,0,0,0,0,0
12 pos1-dynamics     =off        # (0: off ,1: on)
13 pos1-tidecorr     =on         # (0: off ,1: on ,2: ot1)
14 pos1-ionoopt      =brdc       # (0: off ,1: brdc ,2: sbas ,3: dual-freq ,4: est-stec ,5: ionex-tec ,6: qzs-brdc ,7: qzs-lex ,8: stec)
15 pos1-tropopt      =saas       # (0: off ,1: saas ,2: sbas ,3: est-ztd ,4: est-ztdgrad ,5: ztd)
16 pos1-sateph       =precise    # (0: brdc ,1: precise ,2: brdc+sbas ,3: brdc+ssrapc ,4: brdc+ssrcom)
17 pos1-posopt1      =on         # (0: off ,1: on)
18 pos1-posopt2      =on         # (0: off ,1: on)
19 pos1-posopt3      =on         # (0: off ,1: on ,2: precise)
20 pos1-posopt4      =off        # (0: off ,1: on)
21 pos1-posopt5      =off        # (0: off ,1: on)
22 pos1-posopt6      =off        # (0: off ,1: on)
23 pos1-exclsats     =          # (prn ...)
24 pos1-navsys       =1         # (1: gps+2: sbas+4: glo+8: gal+16: qzs+32: comp)
25 pos2-armode       =off        # (0: off ,1: continuous ,2: instantaneous ,3: fix-and-hold)
26 pos2-gloarmode    =on         # (0: off ,1: on ,2: autocal)
27 pos2-bdsarmode    =on         # (0: off ,1: on)
28 pos2-arthres      =3
29 pos2-arthres1     =0.9999
30 pos2-arthres2     =0.25
31 pos2-arthres3     =0.1
32 pos2-arthres4     =0.05
33 pos2-arlockcnt    =0
34 pos2-arelmask     =0         # (deg)
35 pos2-arminfix     =10
36 pos2-armaxiter    =1
37 pos2-elmaskhold   =0         # (deg)
38 pos2-aroutcnt     =5
39 pos2-maxage       =30        # (s)
40 pos2-syncsol      =off        # (0: off ,1: on)
41 pos2-slipthres    =0.05      # (m)
42 pos2-rejionno     =30        # (m)
43 pos2-rejgdop      =30
44 pos2-niter        =1
45 pos2-baselen      =0         # (m)
46 pos2-basesig      =0         # (m)
47 out-solformat     =xyz       # (0: llh ,1: xyz ,2: enu ,3: nmea)
48 out-outhead       =on        # (0: off ,1: on)
49 out-outopt        =on        # (0: off ,1: on)
50 out-outvel        =off       # (0: off ,1: on)
51 out-timesys       =utc       # (0: gpst ,1: utc ,2: jst)
52 out-timeform      =hms       # (0: tow ,1: hms)
53 out-timendec      =3
54 out-degform       =deg       # (0: deg ,1: dms)
55 out-fieldsep      =
56 out-outsingle     =off       # (0: off ,1: on)
57 out-maxsolstd     =0         # (m)
58 out-height        =ellipsoidal # (0: ellipsoidal ,1: geodetic)
59 out-geoid         =internal  # (0: internal ,1: egm96 ,2: egm08_2.5 ,3: egm08_1 ,4: gsi2000)
60 out-solstatic     =all       # (0: all ,1: single)
61 out-nmeaintv1     =0         # (s)
62 out-nmeaintv2     =0         # (s)
63 out-outstat       =off       # (0: off ,1: state ,2: residual)
64 stats-eratio1     =100
65 stats-eratio2     =100
66 stats-errphase    =0.003     # (m)
67 stats-errphaseel  =0.003     # (m)
68 stats-errphasebl  =0         # (m/10km)
69 stats-errdoppler  =10        # (Hz)
70 stats-stdbias     =30        # (m)
71 stats-stdiono     =0.03      # (m)
72 stats-stdtrop     =0.3       # (m)

```

```

73 stats-prnaccelh =10 # (m/s^2)
74 stats-prnaccelv =10 # (m/s^2)
75 stats-prnbias =0.0001 # (m)
76 stats-prniono =0.001 # (m)
77 stats-prntrop =0.0001 # (m)
78 stats-prnpos =0 # (m)
79 stats-clkstab =5e-12 # (s/s)
80 ant1-postype =1lh # (0:1lh,1:xyz,2:single,3:posfile,4:rinxhead,5:rtcm,6:raw)
81 ant1-pos1 =90 # (deg lm)
82 ant1-pos2 =0 # (deg lm)
83 ant1-pos3 =-6335367.6285 # (mlm)
84 ant1-anttype =*
85 ant1-antdele =0 # (m)
86 ant1-antdeln =0 # (m)
87 ant1-antdelu =0 # (m)
88 ant2-postype =1lh # (0:1lh,1:xyz,2:single,3:posfile,4:rinxhead,5:rtcm,6:raw)
89 ant2-pos1 =90 # (deg lm)
90 ant2-pos2 =0 # (deg lm)
91 ant2-pos3 =-6335367.6285 # (mlm)
92 ant2-anttype =
93 ant2-antdele =0 # (m)
94 ant2-antdeln =0 # (m)
95 ant2-antdelu =0 # (m)
96 ant2-maxaveep =0
97 ant2-initrst =off # (0:off,1:on)
98 misc-timeinterp =off # (0:off,1:on)
99 misc-sbasatsel =0 # (0:all)
100 misc-rnxopt1 =
101 misc-rnxopt2 =
102 misc-pppopt =
103 file-satantfile =igs14_2030.atx
104 file-rcvantfile =igs14_2030.atx
105 file-staposfile =
106 file-geoidfile =
107 file-ionofile =
108 file-dcbfile =
109 file-eopfile =
110 file-blqfile =
111 file-tempdir =
112 file-geexefile =
113 file-solstatfile =
114 file-tracefile =

```

APÊNDICE D – ARQUIVO DE CONFIGURAÇÃO PARA MODELO GIM

```
1 # rtkpost options (2019/09/29 22:32:37, v.2.4.3 b33)
2
3 pos1-posmode =ppp-static # (0: single ,1: dgps ,2: kinematic ,3: static ,4: movingbase ,5: fixed ,6: ppp-kine ,7: ppp-static ,8: ppp-
   fixed)
4 pos1-frequency =11 # (1: 11 ,2: 11+12 ,3: 11+12+15 ,4: 11+15)
5 pos1-soltype =forward # (0: forward ,1: backward ,2: combined)
6 pos1-elmask =10 # (deg)
7 pos1-snrmask_r =off # (0: off ,1: on)
8 pos1-snrmask_b =off # (0: off ,1: on)
9 pos1-snrmask_L1 =0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
10 pos1-snrmask_L2 =0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
11 pos1-snrmask_L5 =0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
12 pos1-dynamics =off # (0: off ,1: on)
13 pos1-tidecorr =on # (0: off ,1: on ,2: ot1)
14 pos1-ionoopt =ionex-tec # (0: off ,1: brdc ,2: sbas ,3: dual-freq ,4: est-stec ,5: ionex-tec ,6: qzs-brdc ,7: qzs-lex ,8: stec)
15 pos1-tropopt =saas # (0: off ,1: saas ,2: sbas ,3: est-ztd ,4: est-ztdgrad ,5: ztd)
16 pos1-sateph =precise # (0: brdc ,1: precise ,2: brdc+sbas ,3: brdc+ssrapc ,4: brdc+ssrcom)
17 pos1-posopt1 =on # (0: off ,1: on)
18 pos1-posopt2 =on # (0: off ,1: on)
19 pos1-posopt3 =on # (0: off ,1: on ,2: precise)
20 pos1-posopt4 =off # (0: off ,1: on)
21 pos1-posopt5 =off # (0: off ,1: on)
22 pos1-posopt6 =off # (0: off ,1: on)
23 pos1-exclsats = # (prn ...)
24 pos1-navsys =1 # (1: gps+2: sbas+4: glo+8: gal+16: qzs+32: comp)
25 pos2-armode =off # (0: off ,1: continuous ,2: instantaneous ,3: fix-and-hold)
26 pos2-gloarmode =on # (0: off ,1: on ,2: autocal)
27 pos2-bdsarmode =on # (0: off ,1: on)
28 pos2-arthres =3
29 pos2-arthres1 =0.9999
30 pos2-arthres2 =0.25
31 pos2-arthres3 =0.1
32 pos2-arthres4 =0.05
33 pos2-arlockcnt =0
34 pos2-arelmask =0 # (deg)
35 pos2-arminfix =10
36 pos2-armaxiter =1
37 pos2-elmaskhold =0 # (deg)
38 pos2-aroutcnt =5
39 pos2-maxage =30 # (s)
40 pos2-syncsol =off # (0: off ,1: on)
41 pos2-slipthres =0.05 # (m)
42 pos2-rejionno =30 # (m)
43 pos2-rejgdop =30
44 pos2-niter =1
45 pos2-baselen =0 # (m)
46 pos2-basesig =0 # (m)
47 out-solformat =xyz # (0: llh ,1: xyz ,2: enu ,3: nmea)
48 out-outhead =on # (0: off ,1: on)
49 out-outopt =on # (0: off ,1: on)
50 out-outvel =off # (0: off ,1: on)
51 out-timesys =utc # (0: gpst ,1: utc ,2: jst)
52 out-timeform =hms # (0: tow ,1: hms)
53 out-timendec =3
54 out-degform =deg # (0: deg ,1: dms)
55 out-fieldsep =
56 out-outsingl =off # (0: off ,1: on)
57 out-maxsolstd =0 # (m)
58 out-height =ellipsoidal # (0: ellipsoidal ,1: geodetic)
59 out-geoid =internal # (0: internal ,1: egm96 ,2: egm08_2.5 ,3: egm08_1 ,4: gsi2000)
60 out-solstatic =all # (0: all ,1: single)
61 out-nmeaintv1 =0 # (s)
62 out-nmeaintv2 =0 # (s)
63 out-outstat =off # (0: off ,1: state ,2: residual)
64 stats-eratio1 =100
65 stats-eratio2 =100
66 stats-errphase =0.003 # (m)
67 stats-errphaseel =0.003 # (m)
68 stats-errphasebl =0 # (m/10km)
69 stats-errdoppler =10 # (Hz)
70 stats-stdbias =30 # (m)
71 stats-stdiono =0.03 # (m)
72 stats-stdtrop =0.3 # (m)
73 stats-prnaccelh =10 # (m/s^2)
74 stats-prnaccelv =10 # (m/s^2)
```

```

75 stats-prnbias      =0.0001      # (m)
76 stats-prniono     =0.001       # (m)
77 stats-prntrop      =0.0001      # (m)
78 stats-prnpos       =0           # (m)
79 stats-clkstab      =5e-12       # (s/s)
80 ant1-postype       =1lh         # (0:1lh,1:xyz,2:single,3:posfile,4:rinxhead,5:rtcm,6:raw)
81 ant1-pos1          =90          # (deg lm)
82 ant1-pos2          =0           # (deg lm)
83 ant1-pos3          =-6335367.6285 # (mlm)
84 ant1-anttype       =*
85 ant1-antdele       =0           # (m)
86 ant1-antdeln       =0           # (m)
87 ant1-antdelu       =0           # (m)
88 ant2-postype       =1lh         # (0:1lh,1:xyz,2:single,3:posfile,4:rinxhead,5:rtcm,6:raw)
89 ant2-pos1          =90          # (deg lm)
90 ant2-pos2          =0           # (deg lm)
91 ant2-pos3          =-6335367.6285 # (mlm)
92 ant2-anttype       =
93 ant2-antdele       =0           # (m)
94 ant2-antdeln       =0           # (m)
95 ant2-antdelu       =0           # (m)
96 ant2-maxaveep      =0
97 ant2-initrst       =off         # (0:off,1:on)
98 misc-timeinterp    =off         # (0:off,1:on)
99 misc-sbasatsel     =0           # (0:all)
100 misc-rnxopt1       =
101 misc-rnxopt2       =
102 misc-pppopt        =
103 file-satantfile     =igs14_2030.atx
104 file-rcvantfile     =igs14_2030.atx
105 file-staposfile     =
106 file-geoidfile      =
107 file-ionofile       =igsg3440.18i
108 file-dcbfile        =
109 file-eopfile        =
110 file-blqfile        =
111 file-tempdir        =
112 file-geexefile      =
113 file-solstatfile    =
114 file-tracefile      =

```

APÊNDICE E – ARQUIVO DE CONFIGURAÇÃO PARA MODELO SUPIM-DAVS

```
1 # rtkpost options (2019/09/29 22:32:30, v.2.4.3 b33)
2
3 pos1-posmode =ppp-static # (0: single ,1: dgps ,2: kinematic ,3: static ,4: movingbase ,5: fixed ,6: ppp-kine ,7: ppp-static ,8: ppp-
   fixed)
4 pos1-frequency =11 # (1: 11 ,2: 11+12 ,3: 11+12+15 ,4: 11+15)
5 pos1-soltype =forward # (0: forward ,1: backward ,2: combined)
6 pos1-elmask =10 # (deg)
7 pos1-snrmask_r =off # (0: off ,1: on)
8 pos1-snrmask_b =off # (0: off ,1: on)
9 pos1-snrmask_L1 =0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
10 pos1-snrmask_L2 =0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
11 pos1-snrmask_L5 =0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
12 pos1-dynamics =off # (0: off ,1: on)
13 pos1-tidecorr =on # (0: off ,1: on ,2: ot1)
14 pos1-ionoopt =ionex-tec # (0: off ,1: brdc ,2: sbas ,3: dual-freq ,4: est-stec ,5: ionex-tec ,6: qzs-brdc ,7: qzs-lex ,8: stec)
15 pos1-tropopt =saas # (0: off ,1: saas ,2: sbas ,3: est-ztd ,4: est-ztdgrad ,5: ztd)
16 pos1-sateph =precise # (0: brdc ,1: precise ,2: brdc+sbas ,3: brdc+ssrapc ,4: brdc+ssrcom)
17 pos1-posopt1 =on # (0: off ,1: on)
18 pos1-posopt2 =on # (0: off ,1: on)
19 pos1-posopt3 =on # (0: off ,1: on ,2: precise)
20 pos1-posopt4 =off # (0: off ,1: on)
21 pos1-posopt5 =off # (0: off ,1: on)
22 pos1-posopt6 =off # (0: off ,1: on)
23 pos1-exclsats = # (prn ...)
24 pos1-navsys =1 # (1: gps+2: sbas+4: glo+8: gal+16: qzs+32: comp)
25 pos2-armode =off # (0: off ,1: continuous ,2: instantaneous ,3: fix-and-hold)
26 pos2-gloarmode =on # (0: off ,1: on ,2: autocal)
27 pos2-bdsarmode =on # (0: off ,1: on)
28 pos2-arthres =3
29 pos2-arthres1 =0.9999
30 pos2-arthres2 =0.25
31 pos2-arthres3 =0.1
32 pos2-arthres4 =0.05
33 pos2-arlockcnt =0
34 pos2-arelmask =0 # (deg)
35 pos2-arminfix =10
36 pos2-armaxiter =1
37 pos2-elmaskhold =0 # (deg)
38 pos2-aroutcnt =5
39 pos2-maxage =30 # (s)
40 pos2-syncsol =off # (0: off ,1: on)
41 pos2-slipthres =0.05 # (m)
42 pos2-rejionno =30 # (m)
43 pos2-rejgdop =30
44 pos2-niter =1
45 pos2-baselen =0 # (m)
46 pos2-basesig =0 # (m)
47 out-solformat =xyz # (0: llh ,1: xyz ,2: enu ,3: nmea)
48 out-outhead =on # (0: off ,1: on)
49 out-outopt =on # (0: off ,1: on)
50 out-outvel =off # (0: off ,1: on)
51 out-timesys =utc # (0: gpst ,1: utc ,2: jst)
52 out-timeform =hms # (0: tow ,1: hms)
53 out-timendec =3
54 out-degform =deg # (0: deg ,1: dms)
55 out-fieldsep =
56 out-outsolve =off # (0: off ,1: on)
57 out-maxsolstd =0 # (m)
58 out-height =ellipsoidal # (0: ellipsoidal ,1: geodetic)
59 out-geoid =internal # (0: internal ,1: egm96 ,2: egm08_2.5 ,3: egm08_1 ,4: gsi2000)
60 out-solstatic =all # (0: all ,1: single)
61 out-nmeaintv1 =0 # (s)
62 out-nmeaintv2 =0 # (s)
63 out-outstat =off # (0: off ,1: state ,2: residual)
64 stats-eratio1 =100
65 stats-eratio2 =100
66 stats-errphase =0.003 # (m)
67 stats-errphaseel =0.003 # (m)
68 stats-errphasebl =0 # (m/10km)
69 stats-errdoppler =10 # (Hz)
70 stats-stdbias =30 # (m)
71 stats-stdiono =0.03 # (m)
72 stats-stdtrop =0.3 # (m)
73 stats-prnaccelh =10 # (m/s^2)
74 stats-prnaccelv =10 # (m/s^2)
```

```

75 stats-prnbias      =0.0001      # (m)
76 stats-prniono      =0.001       # (m)
77 stats-prntrop       =0.0001      # (m)
78 stats-prnpos        =0           # (m)
79 stats-clkstab       =5e-12       # (s/s)
80 ant1-postype        =1lh         # (0:1lh,1:xyz,2:single,3:posfile,4:rinxhead,5:rtcm,6:raw)
81 ant1-pos1           =90          # (deg|lm)
82 ant1-pos2           =0           # (deg|lm)
83 ant1-pos3           =-6335367.6285 # (mlm)
84 ant1-anttype        =*
85 ant1-antdele        =0           # (m)
86 ant1-antdeln        =0           # (m)
87 ant1-antdelu        =0           # (m)
88 ant2-postype        =1lh         # (0:1lh,1:xyz,2:single,3:posfile,4:rinxhead,5:rtcm,6:raw)
89 ant2-pos1           =90          # (deg|lm)
90 ant2-pos2           =0           # (deg|lm)
91 ant2-pos3           =-6335367.6285 # (mlm)
92 ant2-anttype        =
93 ant2-antdele        =0           # (m)
94 ant2-antdeln        =0           # (m)
95 ant2-antdelu        =0           # (m)
96 ant2-maxaveep       =0
97 ant2-initrst        =off         # (0:off,1:on)
98 misc-timeinterp     =off         # (0:off,1:on)
99 misc-sbasatsel      =0           # (0:all)
100 misc-rnxopt1        =
101 misc-rnxopt2        =
102 misc-pppopt         =
103 file-satantfile     =igs14_2030.atx
104 file-rcvantfile     =igs14_2030.atx
105 file-staposfile     =
106 file-geoidfile      =
107 file-ionofile       =I2D3440.181
108 file-dcbfile        =
109 file-eopfile        =
110 file-blqfile        =
111 file-tempdir        =
112 file-geexefile      =
113 file-solstatfile    =
114 file-tracefile      =

```

APÊNDICE F – SCRIPT PARA PÓS-PROCESSAMENTO DE DUPLA FREQUÊNCIA

```
1 #-----#
2 #####      Universidade Federal de Santa Maria      #####
3 #####      Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  #####
4 #####      Centro de Tecnologias                    #####
5 #####      Engenharia de Computação                 #####
6 #####      Victor Dallagnol Bento                   #####
7 #-----#
8
9 # O Script deve estar no mesmo diretório dos "Arquivos Fixos"
10
11 # Diretório de saída
12 SimOut='$DualFreq'
13
14 #----- Campo para alterações dependendo do dia que será simulado
15 # Diretório da Simulação Simulation data
16 SimData='$344'
17 # Arquivos Fixos
18 RINEX='brdc3440.18n'
19 CLK='igr20311.clk'
20 ORBIT='igr20311.sp3'
21 #-----
22
23 # Contador para indicar número de arquivos simulados
24 COUNT=1
25
26 # Lista arquivos RINEX de Observação (RINEX OBS) de cada estação
27 cd /home/bentovictor/Downloads/SIMULATIONS/$SimData/RINEX
28 ls > /home/bentovictor/Downloads/SIMULATIONS/$SimData/RinexList_DUAL_FREQ.txt
29 cd /home/bentovictor/Downloads/SIMULATIONS/$SimData/
30
31 # Leitura da lista contendo o nome dos RINEX OBS
32 while read LINHA; do
33     RINEX_OBS=$(echo $LINHA | awk '{print $1}')
34     echo $COUNT
35     COUNT=$((COUNT+1))
36
37     # Atribui o nome do arquivo RINEX OBS para o arquivo de saída mudando apenas sua
38     # extensão
39     OUT=${RINEX_OBS/.18n/.pos}
40
41     # PÓS-PROCESSAMENTO
42     rnx2rtkp -k /home/bentovictor/Downloads/SIMULATIONS/$SimData/rtkpost_dual.conf -o /
43     home/bentovictor/Downloads/SIMULATIONS/$SimData/$SimOut/$OUT /home/bentovictor/
44     Downloads/SIMULATIONS/$SimData/RINEX/$RINEX_OBS /home/bentovictor/Downloads/
45     SIMULATIONS/$SimData/$RINEX /home/bentovictor/Downloads/SIMULATIONS/$SimData/$CLK
46     /home/bentovictor/Downloads/SIMULATIONS/$SimData/$ORBIT
47 done < RinexList_DUAL_FREQ.txt
48
49 # Remoção da Lista criada anteriormente com o nome dos RINEX OBS
50 rm RinexList_DUAL_FREQ.txt
51
52 echo "DONE!"
```

APÊNDICE G – SCRIPT PARA PÓS-PROCESSAMENTO DE FREQUÊNCIA SIMPLES - KLOBUCHAR

```
1 #-----#
2 #####      Universidade Federal de Santa Maria      #####
3 #####      Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  #####
4 #####      Centro de Tecnologias                    #####
5 #####      Engenharia de Computação                 #####
6 #####      Victor Dallagnol Bento                   #####
7 #-----#
8
9 # O Script deve estar no mesmo diretório dos "Arquivos Fixos"
10
11 # Diretório de saída
12 SimOut='$'Klobuchar'
13
14 #----- Campo para alterações dependendo do dia que será simulado
15 # Diretório da Simulação Simulation data
16 SimData='$'344'
17 # Arquivos Fixos
18 RINEX='brdc3440.18n'
19 CLK='igr20311.clk'
20 ORBIT='igr20311.sp3'
21 #-----
22
23 # Contador para indicar número de arquivos simulados
24 COUNT=1
25
26 # Lista arquivos RINEX de Observação (RINEX OBS) de cada estação
27 cd /home/bentOvictOr/Downloads/SIMULATIONS/$SimData/RINEX
28 ls > /home/bentOvictOr/Downloads/SIMULATIONS/$SimData/RinexList_KLOBUCHAR.txt
29 cd /home/bentOvictOr/Downloads/SIMULATIONS/$SimData/
30
31 # Leitura da lista contendo o nome dos RINEX OBS
32 while read LINHA; do
33     RINEX_OBS=$(echo $LINHA | awk '{print $1}')
34     echo $COUNT
35     COUNT=$((COUNT+1))
36
37     # Atribui o nome do arquivo RINEX OBS para o arquivo de saída mudando apenas sua
38     # extensão
39     OUT=${RINEX_OBS/.18o/.pos}
40
41     # PÓS-PROCESSAMENTO
42     rnx2rtkp -k /home/bentOvictOr/Downloads/SIMULATIONS/$SimData/rtkpost_klob.conf -o /
43     home/bentOvictOr/Downloads/SIMULATIONS/$SimData/$SimOut/$OUT /home/bentOvictOr/
44     Downloads/SIMULATIONS/$SimData/RINEX/$RINEX_OBS /home/bentOvictOr/Downloads/
45     SIMULATIONS/$SimData/$RINEX /home/bentOvictOr/Downloads/SIMULATIONS/$SimData/$CLK
46     /home/bentOvictOr/Downloads/SIMULATIONS/$SimData/$ORBIT
47 done < RinexList_KLOBUCHAR.txt
48
49 # Remoção da Lista criada anteriormente com o nome dos RINEX OBS
50 rm RinexList_KLOBUCHAR.txt
51
52 echo "DONE!"
```


APÊNDICE H – SCRIPT PARA PÓS-PROCESSAMENTO DE FREQUÊNCIA SIMPLES - GIM

```
1 #-----#
2 #####      Universidade Federal de Santa Maria      #####
3 #####      Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  #####
4 #####      Centro de Tecnologias                    #####
5 #####      Engenharia de Computação                 #####
6 #####      Victor Dallagnol Bento                   #####
7 #-----#
8
9 # O Script deve estar no mesmo diretório dos "Arquivos Fixos"
10
11 # Diretório de saída
12 SimOut='$'IGS'
13
14 #----- Campo para alterações dependendo do dia que será simulado
15 # Diretório da Simulação Simulation data
16 SimData='$'344'
17 # Arquivos Fixos
18 RINEX='brdc3440.18n'
19 CLK='igr20311.clk'
20 ORBIT='igr20311.sp3'
21 #-----
22
23 # Contador para indicar número de arquivos simulados
24 COUNT=1
25
26 # Lista arquivos RINEX de Observação (RINEX OBS) de cada estação
27 cd /home/bent0vict0r/Downloads/SIMULATIONS/$SimData/RINEX
28 ls > /home/bent0vict0r/Downloads/SIMULATIONS/$SimData/RinexList_IGS.txt
29 cd /home/bent0vict0r/Downloads/SIMULATIONS/$SimData/
30
31 # Leitura da lista contendo o nome dos RINEX OBS
32 while read LINHA; do
33     RINEX_OBS=$(echo $LINHA | awk '{print $1}')
34     echo $COUNT
35     COUNT=$((COUNT+1))
36
37     # Atribui o nome do arquivo RINEX OBS para o arquivo de saída mudando apenas sua
38     # extensão
39     OUT=${RINEX_OBS/.18o/.pos}
40
41     # PÓS-PROCESSAMENTO
42     rnix2rtkp -k /home/bent0vict0r/Downloads/SIMULATIONS/$SimData/rtkpost_ionex_igs.conf -
43         o /home/bent0vict0r/Downloads/SIMULATIONS/$SimData/$SimOut/$OUT /home/bent0vict0r
44         /Downloads/SIMULATIONS/$SimData/RINEX/$RINEX_OBS /home/bent0vict0r/Downloads/
45         SIMULATIONS/$SimData/$RINEX /home/bent0vict0r/Downloads/SIMULATIONS/$SimData/$CLK
46         /home/bent0vict0r/Downloads/SIMULATIONS/$SimData/$ORBIT
47 done < RinexList_IGS.txt
48
49 # Remoção da Lista criada anteriormente com o nome dos RINEX OBS
50 rm RinexList_IGS.txt
51
52 echo "DONE!"
```

APÊNDICE I – SCRIPT PARA PÓS-PROCESSAMENTO DE FREQUÊNCIA SIMPLES - SUPIM-DAVS

```
1 #-----#
2 #####      Universidade Federal de Santa Maria      #####
3 #####      Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  #####
4 #####      Centro de Tecnologias                    #####
5 #####      Engenharia de Computação                 #####
6 #####      Victor Dallagnol Bento                   #####
7 #-----#
8
9 # O Script deve estar no mesmo diretório dos "Arquivos Fixos"
10
11 # Diretório de saída
12 SimOut='$SUPIM'
13
14 #----- Campo para alterações dependendo do dia que será simulado
15 # Diretório da Simulação Simulation data
16 SimData='$344'
17 # Arquivos Fixos
18 RINEX='brdc3440.18n'
19 CLK='igr20311.clk'
20 ORBIT='igr20311.sp3'
21 #-----
22
23 # Contador para indicar número de arquivos simulados
24 COUNT=1
25
26 # Lista arquivos RINEX de Observação (RINEX OBS) de cada estação
27 cd /home/bentovictor/Downloads/SIMULATIONS/$SimData/RINEX
28 ls > /home/bentovictor/Downloads/SIMULATIONS/$SimData/RinexList_SUPIM.txt
29 cd /home/bentovictor/Downloads/SIMULATIONS/$SimData/
30
31 # Leitura da lista contendo o nome dos RINEX OBS
32 while read LINHA; do
33     RINEX_OBS=$(echo $LINHA | awk '{print $1}')
34     echo $COUNT
35     COUNT=$((COUNT+1))
36
37     # Atribui o nome do arquivo RINEX OBS para o arquivo de saída mudando apenas sua
38     # extensão
39     OUT=${RINEX_OBS/.18o/.pos}
40
41     # PÓS-PROCESSAMENTO
42     rnx2rtkp -k /home/bentovictor/Downloads/SIMULATIONS/$SimData/rtkpost_ionex_supim.conf
43     -o /home/bentovictor/Downloads/SIMULATIONS/$SimData/$SimOut/$OUT /home/
44     bentovictor/Downloads/SIMULATIONS/$SimData/RINEX/$RINEX_OBS /home/bentovictor/
45     Downloads/SIMULATIONS/$SimData/$RINEX /home/bentovictor/Downloads/SIMULATIONS/
46     $SimData/$CLK /home/bentovictor/Downloads/SIMULATIONS/$SimData/$ORBIT
47 done < RinexList_SUPIM.txt
48
49 # Remoção da Lista criada anteriormente com o nome dos RINEX OBS
50 rm RinexList_SUPIM.txt
51
52 echo "DONE!"
```

APÊNDICE J – SOFTWARE PARA AVALIAÇÃO DAS CORREÇÕES IONOSFÉRICAS

```

1  # -*- coding: utf-8 -*-
2  #-----#
3  #####          Universidade Federal de Santa Maria          #####
4  #####          Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais      #####
5  #####          Centro de Tecnologias                          #####
6  #####          Engenharia de Computação                      #####
7  #####          Victor Dallagnol Bento                        #####
8  #-----#
9  import os, sys, math
10
11
12  #..... VARIÁVEIS
13      GLOBAIS
14  listRinex = []      # Lista para arquivos RINEX
15  countRinex = 0      # Contador para quantidade de arquivos RINEX
16  listBases = []      # Lista para armazenar dados das bases
17  JDAY = "010"
18
19  # Caminho para abrir arquivos RINEX
20  pathRinex = "/home/bent0vict0r/Downloads/SIMULATIONS/"+ JDAY + "/RINEX/"
21  dirsRinex = os.listdir(pathRinex)
22
23  NumberOfSamples = 12      # Numero de amostras (2h em 2h = 12 amostras no dia)
24
25  listPos = []      # Lista para arquivos .POS de cada pasta (x, y, z, nome)
26
27  save = 0      # Para salvar nome e hora somente uma vez na lista final
28
29  # Caminho para abrir arquivos POS de cada correção
30  pathPos1 = "/home/bent0vict0r/Downloads/SIMULATIONS/"+ JDAY + "/IGS/"
31  dirsPos1 = os.listdir(pathPos1)
32  pathPos2 = "/home/bent0vict0r/Downloads/SIMULATIONS/"+ JDAY + "/Klobuchar/"
33  dirsPos2 = os.listdir(pathPos2)
34  pathPos3 = "/home/bent0vict0r/Downloads/SIMULATIONS/"+ JDAY + "/SUPIM/"
35  dirsPos3 = os.listdir(pathPos3)
36  pathPos4 = "/home/bent0vict0r/Downloads/SIMULATIONS/"+ JDAY + "/DualFreq/"
37  dirsPos4 = os.listdir(pathPos4)
38  # listas para armazenar informações de cada posicionamento de cada estação de 2h-2h
39  listCorrections = []
40  #.....
41
42
43
44  #..... FUNÇÃO
45      PRINCIPAL
46  def main():
47      global listRinex, countRinex, listBases, pathRinex, dirsRinex, listPos, pathPos1,
48          pathPos2, pathPos3, pathPos4, pathPos5, dirsPos1, dirsPos2, dirsPos3, dirsPos4,
49          dirsPos5, save      # Para utilizar e editar variáveis globais
50
51      # Leitura de todos os arquivos do diretório PATHDIR e armazenamento em Lista
52      for file in dirsRinex:

```

```

50     listRinex.insert(countRinex, file)
51     countRinex += 1
52
53 # For para leitura de todas as distancias dos arquivos RINEX
54 iRinex = 0
55 while iRinex < countRinex:
56
57     readECEF = pathRinex + listRinex[iRinex]    # Caminho para leitura do arquivo
58     RINEX                                     # Leitura do arquivo RINEX e busca por linhas que contém
59     line_num = 0                               XYZ
60     f = open(readECEF)
61     for line in f:
62         if "APPROX POSITION XYZ" in line:
63             xyzBase = line    # Armazena linha que contém XYZ na variavel xyzBase
64             break
65         else:
66             line_num += 1
67
68 # Separa string por espaço (" ") e grava em lista listXYZ
69 listXYZ = []
70 listXYZ = list(xyzBase.split(" "))    # Separa elementos por " " e transforma em
71 lista
72
73 auxBase = []
74 for index in listXYZ:    # Laço para percorrer Lista:
75     if index == '':    # Se valor do índice da lista for '' (vazio), lê o
76         próximo
77         pass
78     else:
79         auxBase.append(index)    # Se valor for diferente, adicionar valor (x, y
80         ou z) a lista auxiliar auxBase
81
82 # Remove parte da lista que não é X, Y e Z
83 auxBase.remove("APPROX")
84 auxBase.remove("POSITION")
85 auxBase.remove("XYZ\n")
86
87 auxBase.append(listRinex[iRinex])    # Adiciona nome da base ao ultimo índice
88 da lista
89 listBases.append(auxBase)    # Adiciona lista com dados da base (x, y,
90 z e nome) para Lista de Bases (lista de listas)
91
92 iRinex += 1
93
94 listPos = readAmountPOS(pathPos1, dirsPos1)
95
96 # Esquema para rodar todas as correções, entrando em todas os diretórios
97 countCorrection = 0
98 if countCorrection == 0:    # IGS
99     findCoordinates(pathPos1)
100     countCorrection += 1
101     # Já salvou na lista final o nome de cada .POS e as horas das amostras
102     save = 1
103 if countCorrection == 1:    # KLOBUCHAR
104     findCoordinates(pathPos2)
105     countCorrection += 1
106 if countCorrection == 2:    # SUPIM
107     findCoordinates(pathPos3)

```

```

102         countCorrection += 1
103     if countCorrection == 3:                # DUAL FREQUENCY
104         findCoordinates(pathPos4)
105         countCorrection += 1
106
107     for idx in listCorrections:
108         print idx
109 #.....
110
111
112
113 #.....                                LISTAGEM DOS
114     ARQUIVOS .POS
115 def readAmountPOS(pathPos_, dirsPos_):
116     countPos = 0        # Contador para quantidade de arquivos .POS de cada pasta
117     listPos_ = []
118
119     # Leitura de todos os arquivos do diretório PATHDIR e armazenamento em Lista
120     for file in dirsPos_:
121         listPos_.insert(countPos, file)
122         countPos += 1
123     return listPos_
124 #.....
125
126
127 #.....                                LEITURA DOS
128     ARQUIVOS .POS
129 def findCoordinates(pathPos):
130     global listCorrections, save
131
132     counterPos = 0        # Contador para arquivos .POS
133     eptStr = "0.0000 0.0000 0.0000 0.0000"
134
135     # fazer for para ler cada .pos da determinada correção
136     while counterPos < countRinex:
137         # Auxiliares
138         saveLine = []      # Lista para salvar as linhas específicas das horas
139                             analisadas (de hora em hora, ou 2h em 2h, por ex)
140         aux = []
141         listAux = []
142         readPOS = pathPos + listPos[counterPos]    # Caminho do arquivo .POS
143
144         saveLine.insert(0, eptStr)
145         saveLine.insert(1, eptStr)
146         saveLine.insert(2, eptStr)
147         saveLine.insert(3, eptStr)
148         saveLine.insert(4, eptStr)
149         saveLine.insert(5, eptStr)
150         saveLine.insert(6, eptStr)
151         saveLine.insert(7, eptStr)
152         saveLine.insert(8, eptStr)
153         saveLine.insert(9, eptStr)
154         saveLine.insert(10, eptStr)
155         saveLine.insert(11, eptStr)
156
157         # for para leitura e armazenamento das linhas de 2h em 2h
158         f = open(readPOS)

```

```

157     for line in f:                                     # Tolerancia de 10 minutos entre as amostras, sempre
                                                         salva a última sobrecrevendo as anteriores
158         if " 00:0" in line:
159             saveLine.pop(0)
160             saveLine.insert(0, line)
161
162         if " 02:0" in line:
163             saveLine.pop(1)
164             saveLine.insert(1, line)
165
166         if " 04:0" in line:
167             saveLine.pop(2)
168             saveLine.insert(2, line)
169
170         if " 06:0" in line:
171             saveLine.pop(3)
172             saveLine.insert(3, line)
173
174         if " 08:0" in line:
175             saveLine.pop(4)
176             saveLine.insert(4, line)
177
178         if " 10:0" in line:
179             saveLine.pop(5)
180             saveLine.insert(5, line)
181
182         if " 12:0" in line:
183             saveLine.pop(6)
184             saveLine.insert(6, line)
185
186         if " 14:0" in line:
187             saveLine.pop(7)
188             saveLine.insert(7, line)
189
190         if " 16:0" in line:
191             saveLine.pop(8)
192             saveLine.insert(8, line)
193
194         if " 18:0" in line:
195             saveLine.pop(9)
196             saveLine.insert(9, line)
197
198         if " 20:0" in line:
199             saveLine.pop(10)
200             saveLine.insert(10, line)
201
202         if " 22:0" in line:
203             saveLine.pop(11)
204             saveLine.insert(11, line)
205
206     counterLine = 0                                     # Contador para cada linha específica
207     while counterLine < NumberOfSamples:               # Como serão analisadas amostras de 2h
                                                         em 2h teremos 12 amostras
208         aux = [x.strip() for x in saveLine[counterLine].split(" ")] # separa
                                                         por espaços duplos (" ") string e salva em lista aux
209         for i_ in aux:
210             if i_ == '':                                # Elimina posições inválidas da lista
211                 aux.remove('')
212

```

```

213     aux[0] = listPos[counterPos]    # Sobreescreve primeiro elemento da lista (
        dia e hora no formato .POS – desnecessários) pelo nome da estação e salva
        em listAux
214     listAux.append(aux[0])
215     if counterLine == 0:            # Salva hora na listAux e atualia índice
        padrão de escrita saveInList
216         listAux.append("00:00")
217         saveInList = (12*counterPos)
218     if counterLine == 1:
219         listAux.append("02:00")
220         saveInList = (12*counterPos)+1
221     if counterLine == 2:
222         listAux.append("04:00")
223         saveInList = (12*counterPos)+2
224     if counterLine == 3:
225         listAux.append("06:00")
226         saveInList = (12*counterPos)+3
227     if counterLine == 4:
228         listAux.append("08:00")
229         saveInList = (12*counterPos)+4
230     if counterLine == 5:
231         listAux.append("10:00")
232         saveInList = (12*counterPos)+5
233     if counterLine == 6:
234         listAux.append("12:00")
235         saveInList = (12*counterPos)+6
236     if counterLine == 7:
237         listAux.append("14:00")
238         saveInList = (12*counterPos)+7
239     if counterLine == 8:
240         listAux.append("16:00")
241         saveInList = (12*counterPos)+8
242     if counterLine == 9:
243         listAux.append("18:00")
244         saveInList = (12*counterPos)+9
245     if counterLine == 10:
246         listAux.append("20:00")
247         saveInList = (12*counterPos)+10
248     if counterLine == 11:
249         listAux.append("22:00")
250         saveInList = (12*counterPos)+11
251
252     # Calculo da distancia euclidiana para determinada hora
253     for idx in listBases:
254         if idx[3][:4] == listPos[counterPos][:4]:    # Buca estação referente
            ao arquivo .POS para pegar coordenadas e fazer o cálculo
255             if aux[1] == "0.0000" and aux[2] == "0.0000" and aux[3] == "0.0000":
256                 d = -1.0
257                 listAux.append(d)
258             else:
259                 d_1 = (float(aux[1])-float(idx[0]))**2
260                 d_2 = (float(aux[2])-float(idx[1]))**2
261                 d_3 = (float(aux[3])-float(idx[2]))**2
262                 d = math.sqrt(d_1 + d_2 + d_3)
263                 listAux.append(d)                                # Salva na lista
                ListAux
264             if save == 1:    # Depois que efetua a primeira correção, os nomes das
                estações e as horas já estão salvos na lista final (
                listCorrections), basta apenas adicionar a distância da nova

```

```

265         correção á listCorrections.
266         listCorrections[saveInList].append(d)
267     else:
268         pass
269     if save == 0:      # Se ainda verificou nenhuma correção, salva nomes e
270                       # horas das estações na lista final listCorrections
271         listCorrections.append(listAux)
272     # Limpa vetores e atualiza contadores
273     aux = []
274     listAux = []
275     counterLine += 1
276
277     counterPos += 1
278
279 #.....
280 #..... CHAMADA DA
281
282 FUNÇÃO PRINCIPAL
283 if __name__ == '__main__':
284     main() # chamada da função main
285 #.....

```