



## PAINEIS DE DADOS PARA O MONITORAMENTO DAS ATIVIDADES IONOSFÉRICAS NA REGIÃO OESTE DO PARANÁ

Arlete Teresinha Beuren<sup>1</sup>  
Guilherme Luis Weber de Souza<sup>2</sup>  
Vinicius Amadeu Stuani Pereira<sup>3</sup>  
Thiago França Naves<sup>4</sup>  
Telma Woerle de Lima Soares<sup>5</sup>

### RESUMO

**Objetivo:** Este estudo apresenta o desenvolvimento de painéis de dados para monitorar as atividades da camada ionosférica na região oeste paranaense.

**Referencial Teórico:** Considerada a maior fonte de erro sistemático no posicionamento pelo GNSS (*Global Navigation Satellite System*), a compreensão da ionosfera é imprescindível para aplicações na região, como tráfego controlado de máquinas, monitoramento de barragens, navegação aérea, dentre outros.

**Método:** Um conjunto de métricas foi calculada, utilizando observáveis GNSS das estações ITAI (Foz do Iguaçu/PR), MSMN (Mundo Novo/MS) e PRCV (Cascavel/PR) da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS), para o período de 2017 a 2023 (ciclo solar 25).

**Resultados e Discussão:** A partir dos painéis de dados foi possível verificar que durante o ápice do ciclo solar 25 (2022-2023) houve aumento significativo das métricas: atraso ionosférico obtido pela fase da portadora (If), índice de irregularidades ionosféricas (ROTI) e gradiente ionosférico (glf), com picos entre agosto e abril.

**Implicações da Pesquisa:** A análise dos gradientes ionosféricos também indica a viabilidade de implantação do GBAS (*Ground-Based Augmentation System*) no Aeroporto Internacional de Foz do Iguaçu, que auxiliará na aproximação e pouso preciso de aeronaves.

**Originalidade/Valor:** Os resultados fornecem, em geral, uma compreensão estruturada das irregularidades ionosféricas, permitindo a detecção de padrões e melhorias no monitoramento.

**Palavras-chave:** *Global Navigation Satellite System*, Ionosfera, Painéis de Dados.

### DATA PANELS FOR MONITORING IONOSPHERIC ACTIVITIES IN THE WEST REGION OF PARANÁ

### ABSTRACT

**Objective:** This study presents the development of data panels to monitor the activities of the ionospheric layer in the western region of Paraná.

<sup>1</sup> Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Santa Helena, Paraná. Brasil.

E-mail: [arletebeuren@utfpr.edu.br](mailto:arletebeuren@utfpr.edu.br) Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7565-6184>

<sup>2</sup> Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Santa Helena, Paraná. Brasil.

E-mail: [guilhermeluissouza@alunos.utfpr.edu.br](mailto:guilhermeluissouza@alunos.utfpr.edu.br) Orcid: <https://orcid.org/0009-0009-8990-3815>

<sup>3</sup> Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Santa Helena, Paraná. Brasil.

E-mail: [vpereira@utfpr.edu.br](mailto:vpereira@utfpr.edu.br) Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7990-0789>

<sup>4</sup> Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Santa Helena, Paraná. Brasil.

E-mail: [naves@utfpr.edu.br](mailto:naves@utfpr.edu.br) Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3152-1197>

<sup>5</sup> Universidade Federal de Goiás (UFG), Goiânia, Goiás. Brasil.

E-mail: [telma\\_woerle@ufg.br](mailto:telma_woerle@ufg.br) Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4927-2221>



**Theoretical Framework:** Since the ionosphere is considered the largest source of systematic error in positioning by GNSS (Global Navigation Satellite System), understanding it is essential for applications in the region, such as controlled machine traffic, dam monitoring, and aerial navigation, among others.

**Method:** A set of metrics was calculated using GNSS observables from the ITAI (Foz do Iguaçu/PR), MSMN (Mundo Novo/MS), and PRCV (Cascavel/PR) stations of the RBMC (Brazilian Network for Continuous Monitoring of GNSS Systems), from 2017 to 2023 (solar cycle 25).

**Results and Discussion:** The data panels made it possible to verify that during the peak of solar cycle 25 (2022-2023), there was a significant increase in metrics: ionospheric delay obtained by the carrier phase (If), ionospheric irregularity index (ROTI), and ionospheric gradient (glf), with peaks between August and April.

**Research Implications:** The analysis of ionospheric gradients also indicates the feasibility of implementing GBAS (Ground-Based Augmentation System) at Foz do Iguaçu International Airport, which will assist in the precision of aircraft approach and landing.

**Originality/Value:** The results generally provide a structured understanding of ionospheric irregularities, allowing pattern detection and improvement in monitoring.

**Keywords:** Global Navigation Satellite System, Ionosphere, Data Panels.

## PANELES DE DATOS PARA EL MONITOREO DE LAS ACTIVIDADES DE LA IONÓSFERA EN LA REGIÓN OCCIDENTAL DE PARANÁ

### RESUMEN

**Objetivo:** Este estudio presenta el desarrollo de paneles de datos para monitorear las actividades de la capa ionosférica en la región oeste de Paraná.

**Marco Teórico:** Considerada la mayor fuente de error sistemático en el posicionamiento por GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite), comprender la ionosfera es esencial para aplicaciones en la región, como tráfico controlado de máquinas, monitoreo de presas, navegación aérea, entre otras.

**Método:** Se calculó un conjunto de métricas, utilizando observables GNSS de las estaciones ITAI (Foz do Iguaçu/PR), MSMN (Mundo Novo/MS) y PRCV (Cascavel/PR) de la RBMC (Red Brasileña de Monitoreo Continuo de Sistemas GNSS), para el período de 2017 a 2023 (ciclo solar 25).

**Resultados y Discusión:** A partir de los paneles de datos fue posible verificar que durante el pico del ciclo solar 25 (2022-2023) hubo un aumento significativo en las métricas: retraso ionosférico obtenido por la fase de la portadora (If), índice de irregularidad ionosférica (ROTI) y gradiente ionosférico (glf), con picos entre agosto y abril.

**Implicaciones de la investigación:** El análisis de los gradientes ionosféricos también indica la viabilidad de la implementación del GBAS (Ground-Based Augmentation System) en el Aeropuerto Internacional de Foz do Iguaçu, que ayudará en la aproximación y aterrizaje precisos de las aeronaves.

**Originalidad/Valor:** En general, los resultados proporcionan una comprensión estructurada de las irregularidades ionosféricas, lo que permite la detección de patrones y mejoras en el monitoreo.

**Palabras clave:** Sistema Global de Navegación por Satélite, Ionosfera, Paneles de Datos.

RGSA adota a Licença de Atribuição CC BY do Creative Commons (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



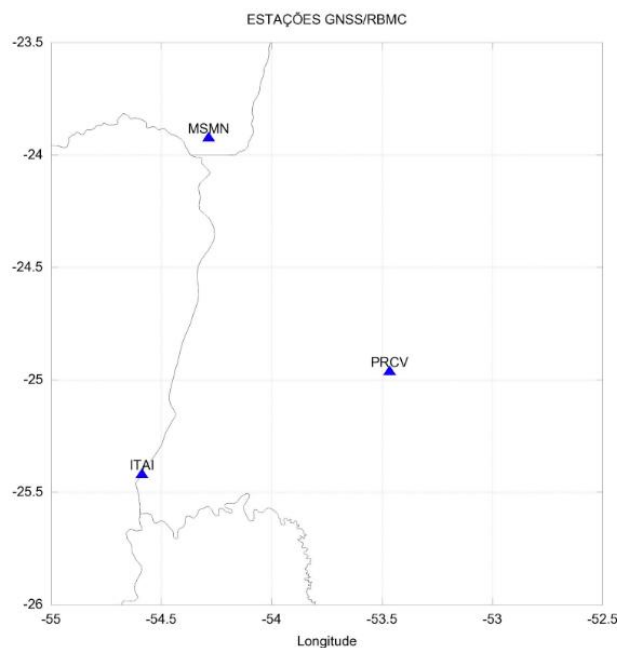


## 1 INTRODUÇÃO

O presente estudo baseia-se na criação de painéis de dados para o monitoramento das atividades ionosféricas, alimentada por métricas calculadas a partir de dados GNSS (*Global Navigation Satellite System*) das estações RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS) dos municípios de Foz do Iguaçu/PR (ITAI), Mundo Novo/MS (MSMN) e Cascavel/PR (PRCV), conforme Figura 1. A análise das métricas disponibilizadas, calculadas através do script *Ion\_Index* (Pereira & Camargo, 2017) e processadas por outro script de limpeza e armazenamento, tem como objetivo a investigação e o monitoramento da intensidade dos gradientes e irregularidades ionosféricas, em determinada data na região abrangida pelo presente estudo.

### Figura 1

*Estações RBMC selecionadas no oeste do Paraná.*



Fonte: Adaptado pelo autor (2024).

A região oeste paranaense é caracterizada pela forte atuação agropecuária, com destaque para o cultivo de grãos (soja e milho), bem como, pela abrangência do reservatório da usina hidrelétrica binacional de Itaipu e pelo turismo da tríplice fronteira em Foz do Iguaçu (Argentina, Brasil e Paraguai). Uma vez que a ionosfera é considerada a maior fonte de erro sistemático no posicionamento pelo GNSS, a compreensão dos efeitos ionosféricos é



imprescindível para aplicações que demandam coordenadas acuradas na região, como tráfego controlado de máquinas, monitoramento de barragens, navegação aérea, dentre outros.

Assim, a partir das métricas calculadas, a ferramenta Power BI foi utilizada para a criação dos painéis de dados para a análise estatística e comparação de dados históricos. Com a análise dos gráficos, é possível detectar um máximo local no ápice do ciclo solar 25, composto pelos anos de 2022 e 2023, especialmente entre os meses de agosto e abril. Além de encontrar mínimos locais no período correspondente à ascensão do ciclo, compreendido pelos anos de 2018 a 2021. Tal constatação representa uma forma de prever prováveis períodos com maior incidência de irregularidades ionosféricas, as quais podem resultar em erros no GPS (*Global Positioning System*), GLONASS (*Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema*), Galileo e BeiDou/Compass.

Por sua vez, o gráfico que relaciona  $glf$  (gradiente ionosférico pela fase) pela elevação dos satélites é utilizado pelo DECEA (Departamento de Controle do Espaço Aéreo), com objetivo de realizar uma avaliação da viabilidade do uso de um GBAS (*Ground-Based Augmentation System*) na região em questão. Para que a utilização do GBAS seja possível, os valores de  $glf$  não podem superar os 425mm/km do CONUS Threat Model (Datta-Barua *et al.*, 2010). Além disso, busca-se relacionar os dados coletados com métricas relevantes, como atraso ionosférico obtido pela fase da portadora ( $If$ ), índice de irregularidades ionosféricas (ROTIN), gradiente ionosférico obtido pela fase ( $gIf$ ), tendência do instrumento do receptor (DCBr), distância entre os Pontos de Posição Ionosférica (IPP - *Ionospheric Pierce Point*) e índice de irregularidades ionosféricas para cada satélite (ROTI).

A hipótese é que a análise dos dados coletados permitirá identificar padrões, tendências e correlações entre as métricas mencionadas, fornecendo insights valiosos sobre as características e o comportamento das atividades ionosféricas na região oeste do Paraná. Essas informações podem ser usadas para aprimorar o monitoramento e a mitigação dos efeitos adversos da ionosfera nos sistemas GNSS, esperançosamente para a melhoria da acurácia e confiabilidade das aplicações projetadas em posicionamento por satélite.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

O GNSS é um conjunto de sistemas de posicionamento e navegação que utiliza constelações de satélites em órbita na Terra para fornecer informações de tempo e localização aos receptores em qualquer ponto do planeta. Além do GPS, existem outros sistemas em operação, como o GLONASS da Rússia, o Galileo da União Europeia e o BeiDou/Compass da



China (Monico, 2008; Silva *et al.*, 2020).

Esses sistemas GNSS funcionam de maneira semelhante, onde os satélites transmitem sinais de rádio que contêm informações precisas sobre suas órbitas e o tempo em que os sinais foram transmitidos. Os receptores GNSS, ao receberem os sinais de, no mínimo, quatro satélites, são capazes de calcular sua posição tridimensional com alta precisão, levando em consideração o tempo de controle dos sinais (Pereira, 2018).

O GNSS oferece uma ampla gama de aplicações móveis, desde navegação pessoal em dispositivos até aplicações profissionais em áreas como Agricultura de Precisão, monitoramento ambiental, monitoramento de estruturas, transporte, Geodésia e muitas outras (Kaplan & Hegarty, 2017; Pereira, 2018).

No Brasil destaca-se a RBMC, uma rede de estações permanentes que faz parte da estrutura do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Essas estações estão equipadas com receptores GNSS de alta precisão e permitem o monitoramento contínuo e preciso do posicionamento em todo o território brasileiro. A RBMC fornece dados de alta qualidade para diversas aplicações, incluindo o monitoramento das atividades ionosféricas (IBGE, 2023).

A ionosfera é uma camada da atmosfera terrestre, compreendida aproximadamente entre 50 e 1000 km de altura, composta por partículas ionizadas que interagem com os sinais GNSS. A presença de irregularidades na ionosfera pode causar distorções e atrasos nos sinais GNSS, levando a erros de posicionamento, que podem ocorrer em diferentes escalas. Também denominada de cintilação ionosférica, a variação rápida e aleatória da intensidade do sinal GNSS pode ocasionar em alguns casos a perda de sintonia (Pereira, 2018).

O monitoramento dos dados da camada ionosférica pode ser representado por relatórios e dashboards, que são ferramentas essenciais para a visualização e análise de dados. Eles permitem apresentar informações de forma clara e organizada, facilitando a identificação de padrões, tendências e correlações. O Power BI é uma plataforma de inteligência de negócios desenvolvida pela Microsoft que oferece recursos avançados de visualização de dados (Ferrari & Russo, 2016). Com o Power BI é possível criar relatórios interativos, gráficos e painéis de dados que ajudam na compreensão e na tomada de decisão (MICROSOFT, 2023). No contexto deste trabalho, o Power BI é usado para visualizar as métricas calculadas a partir dos dados das estações da RBMC relacionados às atividades ionosféricas, possibilitando a identificação de padrões, tendências e correlações.

Essa abordagem metodológica de reporte e visualização de dados permite uma compreensão mais aprofundada das atividades ionosféricas na região oeste do Paraná,



fornecendo insights valiosos para o monitoramento e mitigação dos efeitos adversos da ionosfera nos sistemas de posicionamento por satélite.

### 3 METODOLOGIA

As métricas ionosféricas que alimentam a plataforma foram calculadas através do script `Ion_Index` (Pereira & Camargo, 2017) implementado em C, o qual realiza a transferência de dados das efemérides e arquivos RINEX (Receiver Independent Exchange Format) de observação para a máquina local, descompacta e realiza o processamento, gerando um arquivo de texto com cabeçalho que contém as métricas necessárias, em suas respectivas colunas. Para o presente trabalho foi considerada uma máscara de elevação de 30 graus (para minimizar efeitos de multicaminho dos sinais), 350 km para a altura da camada ionosférica e intervalo de 60s para a determinação dos gradientes ionosféricos. Visando o melhor entendimento, o script `Ion_Index` será chamado de script de coleta.

Após a coleta dos arquivos com as métricas, estes foram processados por outro script, implementado em Python, onde as métricas são tratadas, visando remover linhas contendo informações inválidas. O processamento ocorre transformando os arquivos de texto em DataFrames, estrutura de dados rotulada bidimensional da biblioteca Pandas, e buscando possíveis valores inválidos, como sequências de caracteres ou campos com valor NaN (Not a Number).

Inicialmente, as métricas foram calculadas com resolução temporal de 15s, o que acarretava arquivos que ocupavam muito espaço de armazenamento. Para viabilizar um possível pré-processamento dos dados e a implementação dos painéis, a resolução temporal foi alterada para o horário. Tal conversão foi executada por um outro script implementado em Python, que organizava todas as métricas de cada satélite e respectiva portadora na faixa de uma hora, calculando a média dos respectivos valores e adicionando a um novo arquivo CSV (*comma-separated values*).

A visualização dos dados coletados e processados pelos scripts é realizada por meio da ferramenta proprietária da Microsoft, o Power BI. No Power BI os dados coletados foram adicionados a ferramenta através da importação em formato CSV, para cada uma das três estações utilizadas no estudo: ITAI (Foz do Iguaçu/PR), MSMN (Mundo Novo/MS) e PRCV (Cascavel/PR). Com a base de dados carregada, realizou-se o relacionamento entre os arquivos através da coluna data e uma checagem rápida na integridade da fonte de dados, não demandando nenhum tipo de tratamento dentro da ferramenta.



Essa abordagem metodológica permitiu explorar os dados coletados e fornecer uma compreensão mais aprofundada das atividades ionosféricas na região oeste do Paraná apresentando a análise a partir de diferentes períodos (anos).

#### **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

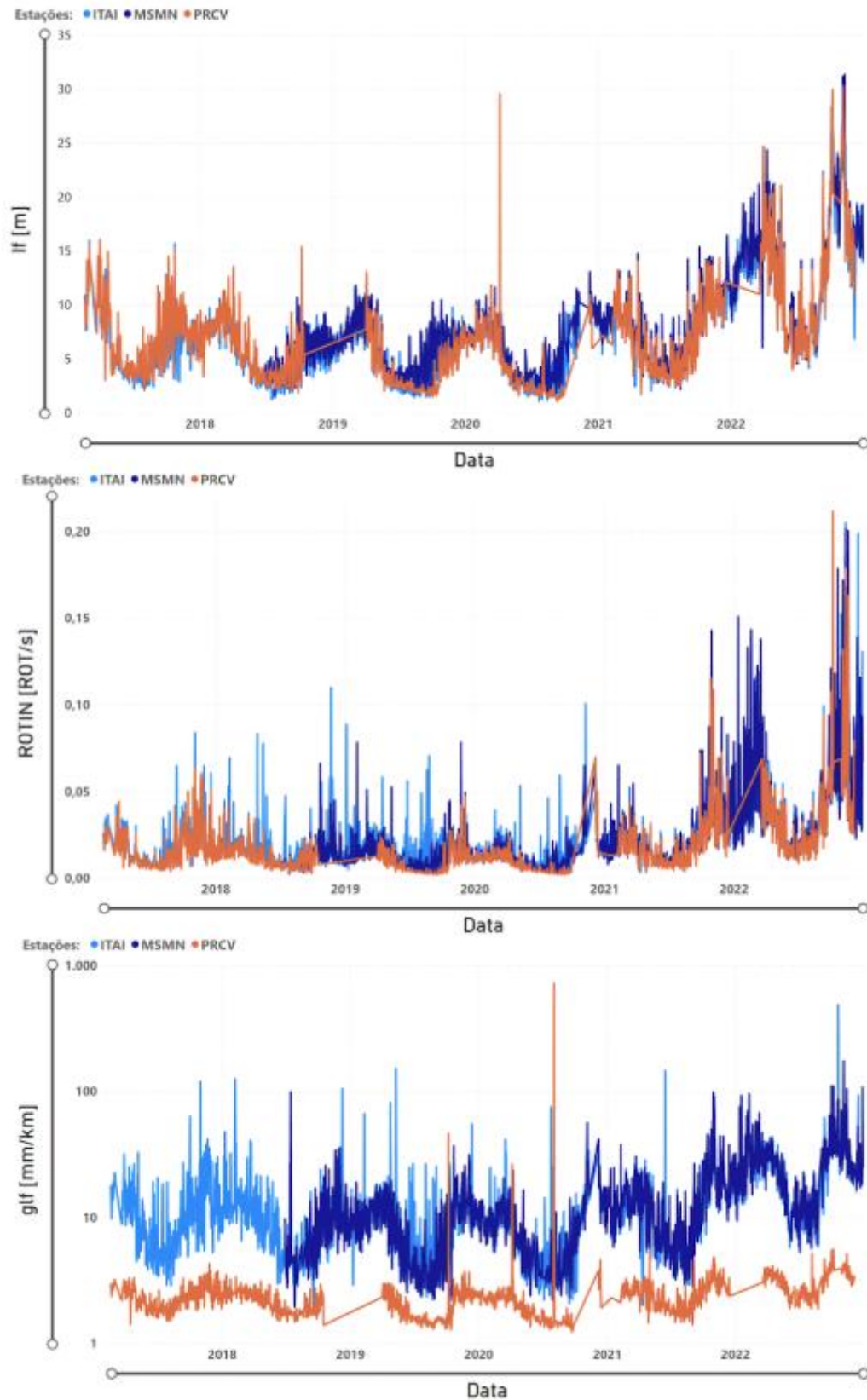
Com enfoque em verificar a intensidade das irregularidades e gradientes ionosféricos, foram geradas algumas visualizações das métricas calculadas, possibilitando ter uma melhor compreensão da ionosfera na região oeste do Paraná.

Em primeiro plano, relacionou-se às métricas If (atraso ionosférico obtido pela fase), ROTIN (índice de irregularidades ionosféricas considerando todos os satélites disponíveis) e glf (gradiente ionosférico obtido pela fase), de todos os satélites GPS e GLONASS com as datas disponíveis de 2017 a 2023 (Figura 2). Percebe-se uma elevação dos valores no ápice do 25º ciclo solar (2022 e 2023), em especial entre os meses de agosto a abril (variação sazonal). De maneira inversa, pode-se observar valores menores durante o período de ascensão do ciclo solar, compreendido pelos anos de 2018 até 2021.



**Figura 2**

*Comparação entre If, ROTIN e gIf com a data para as três estações.*





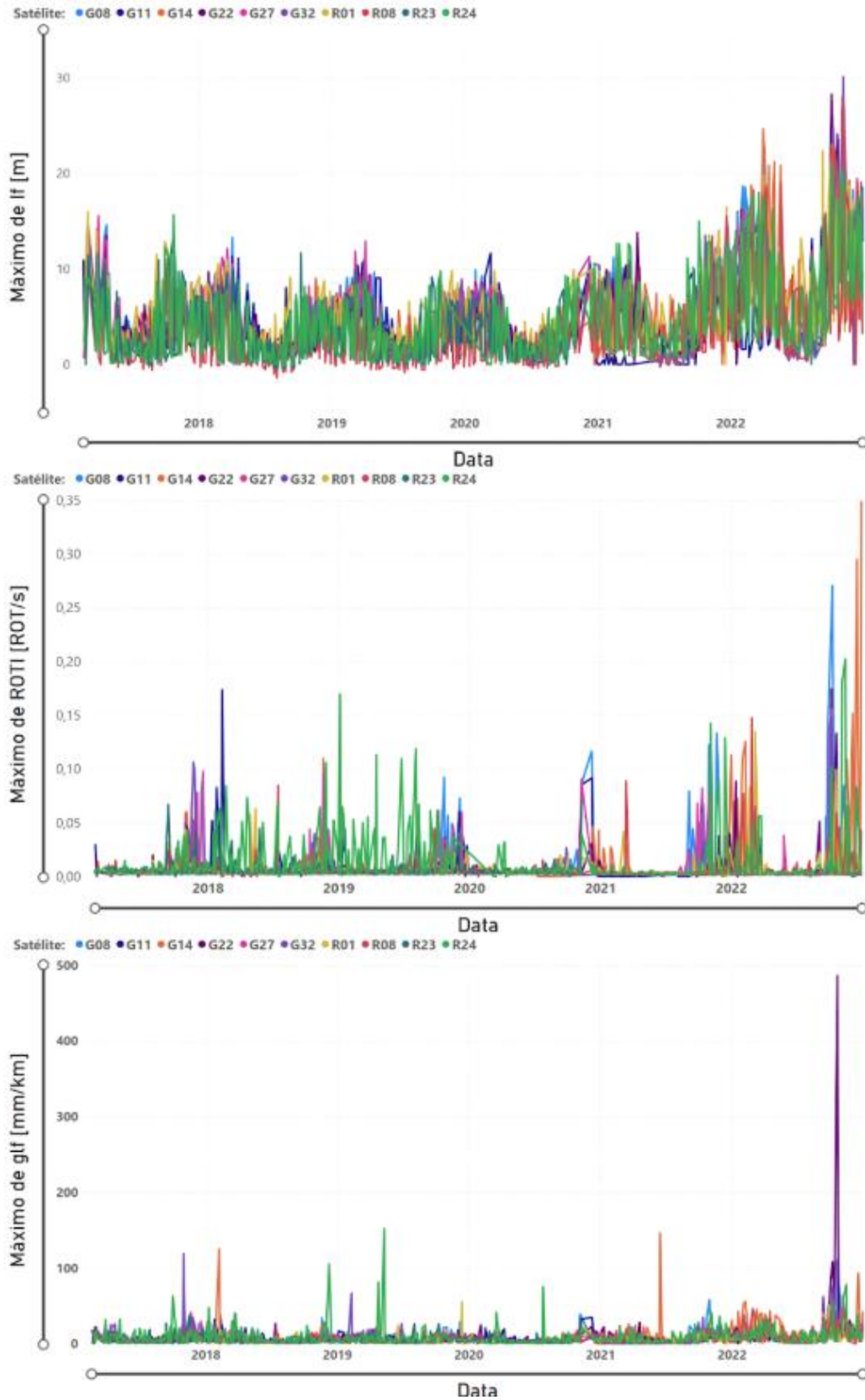
É possível perceber um gradiente categorizado como outlier no terceiro dia do mês de agosto de 2020. Justifica-se a classificação do gradiente como valor atípico devido ao mesmo ser o único a atingir tamanho valor (41.782.615,48), fugindo dos valores ditos íntegros. Além disso, os valores que compõem o gráfico sofreram uma normalização, para facilitar a comparação entre os valores.

A fim de verificar se algum sistema de posicionamento (GPS ou GLONASS) possui diferença de valores das métricas, possibilitando assim uma possível preferência por aquele que resulta em menores índices de atraso, comparou-se as métricas If, ROTI e glf para os satélites disponíveis. De modo a facilitar o entendimento, cada gráfico dessa linha de análise contém uma das métricas para cada satélite disponível. Os gráficos podem ser visualizados nas Figuras 3 (ITAI), Figura 4 (MSMN) e Figura 5 (PRCV). Os valores contidos nos gráficos representam o valor máximo da determinada métrica para o respectivo dia.



**Figura 3**

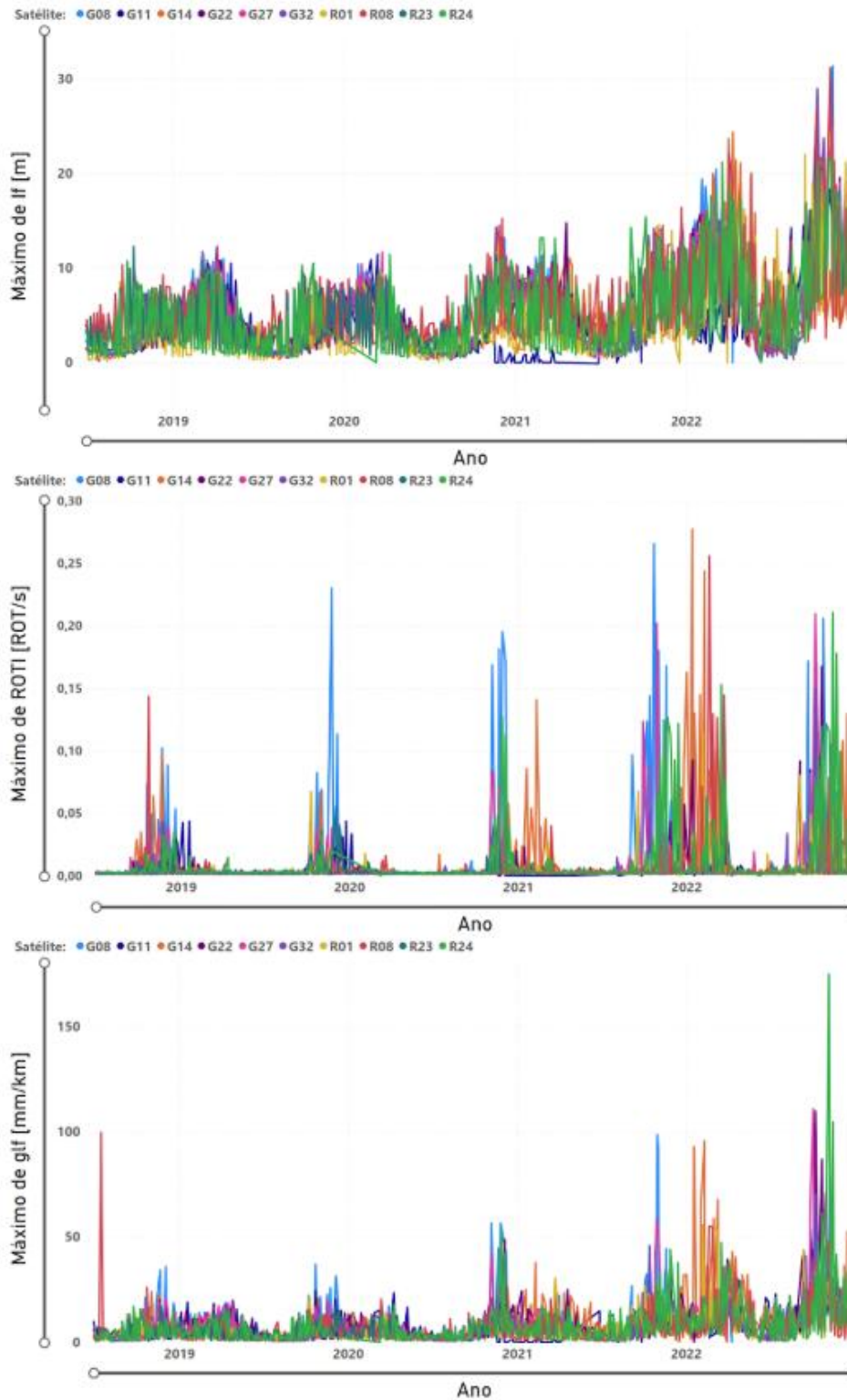
*Comparação entre If, ROTI e glf de cada satélite com a data para a estação ITAI.*





**Figura 4**

*Comparação entre  $I_f$ , ROTI e  $glf$  de cada satélite com a data para a estação MSMN.*

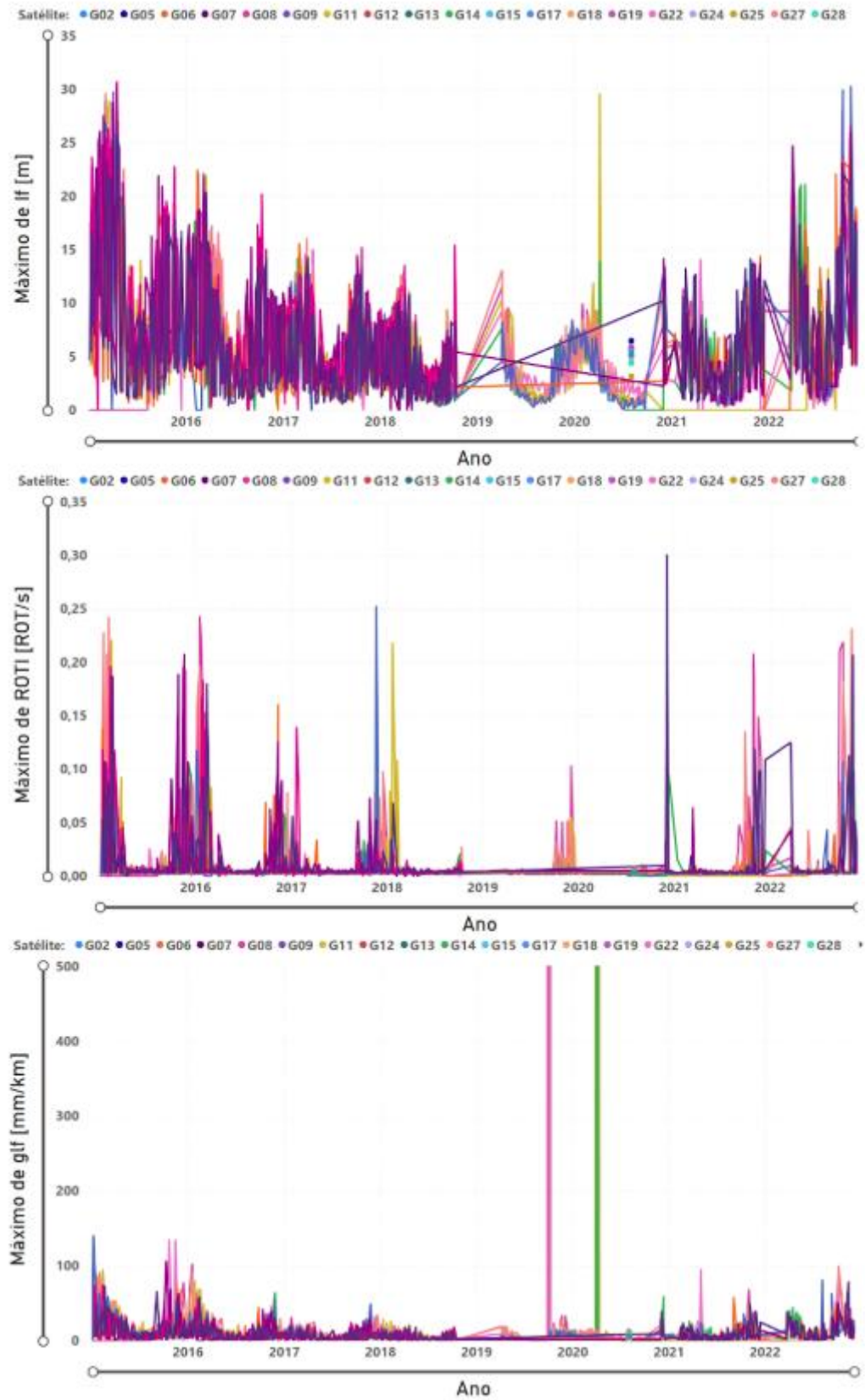


Para a estação PRCV, encontraram-se alguns valores atípicos para a métrica  $glf$  (Figura 5), pois tais valores não representam a realidade de maneira fidedigna.



**Figura 5**

*Comparação entre  $I_f$ , ROTI e  $gI_f$  de cada satélite com a data para a estação PRCV.*

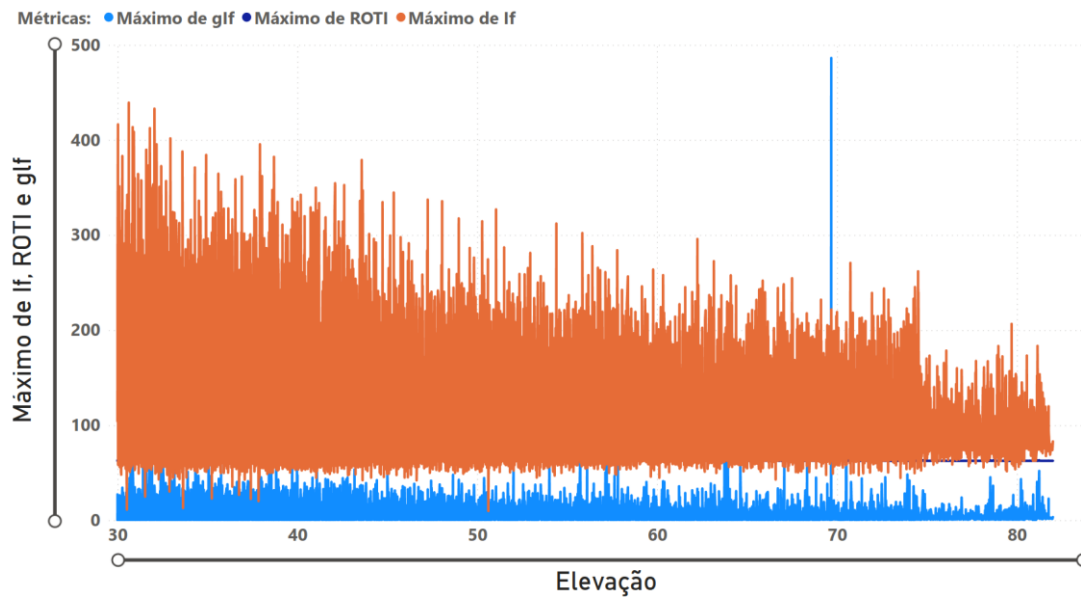




Com o intuito de analisar a viabilidade do uso do GBAS na região, construiu-se uma sequência de gráficos relacionando a elevação do satélite com as métricas If, ROTI e gIf, para as estações ITAI (Figura 6) e MSMN (Figura 7).

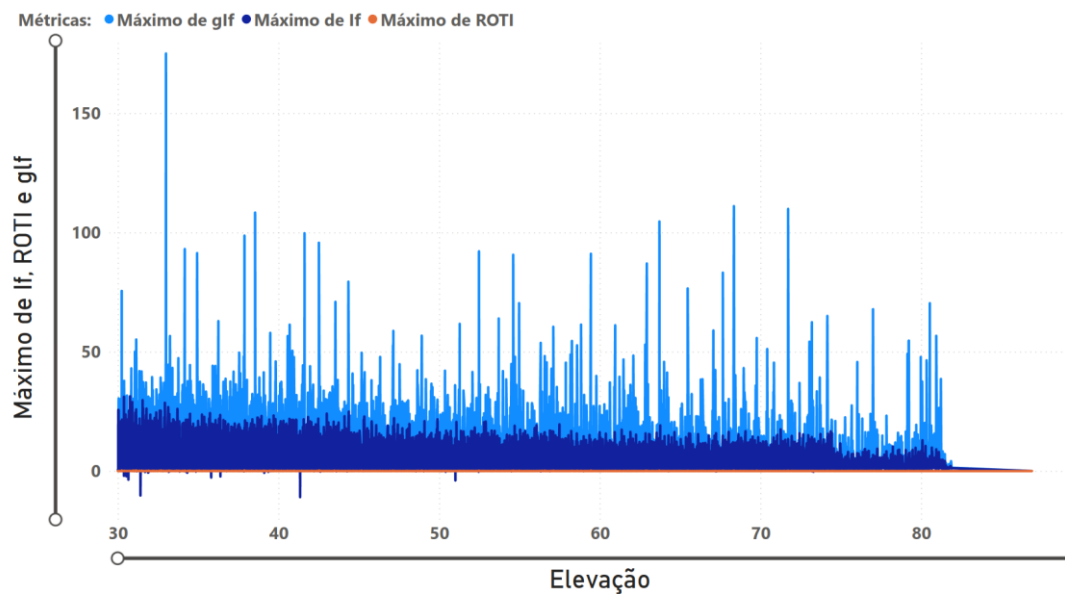
### Figura 6

*Comparação da elevação do satélite com If, ROTI e gIf para a estação ITAI.*



### Figura 7

*Comparação da elevação do satélite com If, ROTI e gIf para a estação MSMN.*



A análise dos padrões observados nos gráficos relacionados ao azimute do satélite, If, ROTI, gIf, DCBr, distância do IPP e ROTIN permite extrair insights relevantes sobre as

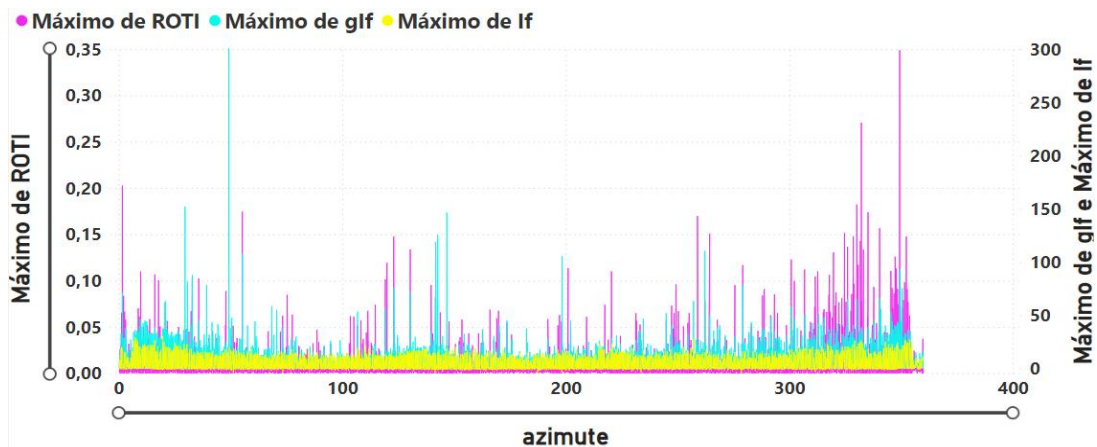


atividades ionosféricas na região oeste do Paraná. Como os resultados de todas as estações contém resultados semelhantes, devido a proximidade, serão apresentados apenas os relatórios para ITAI.

Na Figura 8 é relacionado o azimute com If, ROTI e glf. Ressalta-se que são apresentados apenas os valores máximos diários de cada métrica.

### Figura 8

Relação do azimute do satélite com If, ROTI e glf da estação ITAI.

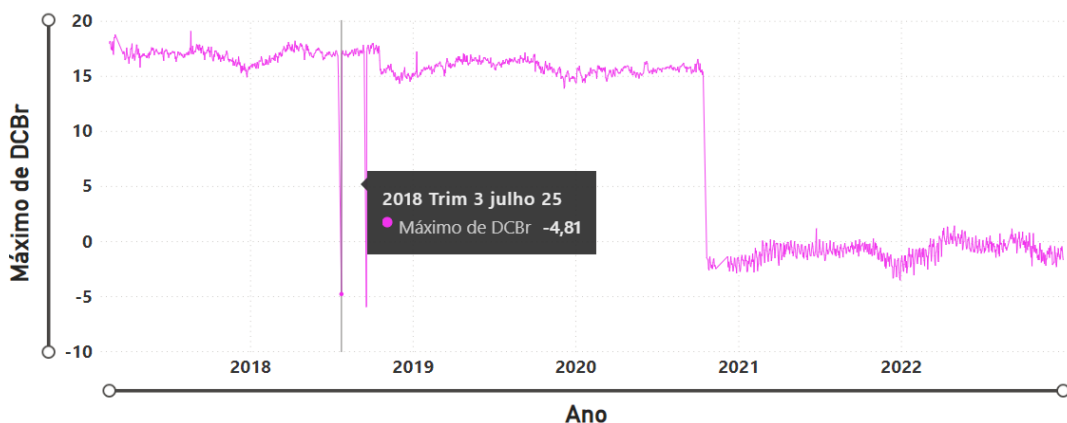


Essa análise permite identificar as principais direções de ocorrências das irregularidades ionosféricas (também denominadas de bolhas) na região oeste paranaense. Os maiores valores de irregularidades estão entre 0° e 100° e entre 270° e 360°, correspondendo o Oeste-Norte-Leste da região oeste paranaense.

Em relação ao DCBr, observa-se a ocorrência de saltos nos valores em certos dias. O gráfico dessa segunda análise é apresentado na Figura 9 para a estação ITAI.

### Figura 9

Relação da data com o DCBr (em ns) da estação ITAI.





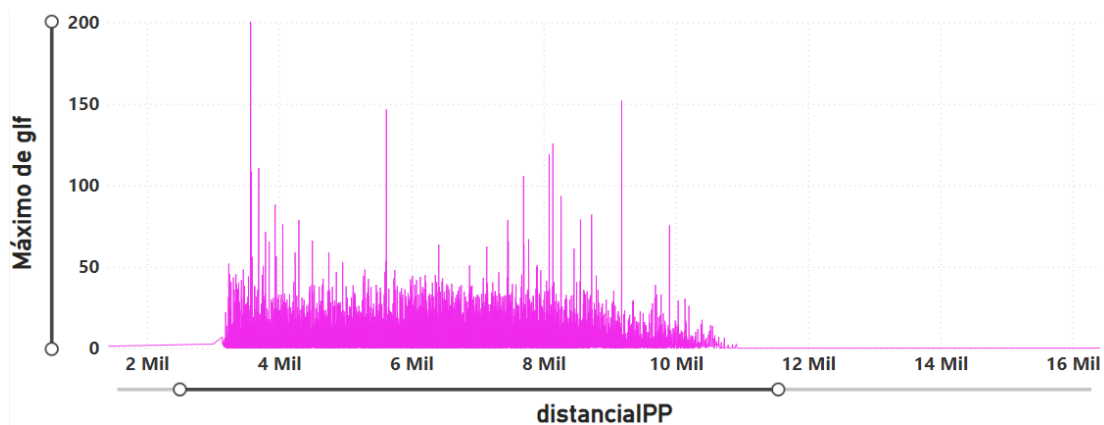
Esses saltos indicam alterações ou atualizações na antena ou no receptor da estação. Essa informação é relevante, pois o DCBr interfere diretamente no cálculo com qualidade do TEC (*Total Electron Content*).

E para se ter uma maior confiança na análise, as datas de atualizações das estações foram comparadas às informações do Relatório de Informação de Estação da RBMC e confirmam a eficiência da ferramenta. Pela Figura 9 pode ser verificado que no dia 25 de julho de 2018 houve uma alteração da antena da estação, pois tem um salto no valor DCBr, essa afirmativa pode ser confirmada no Relatório de Informação da Estação ITAI da RBMC.

Outra análise realizada foi a relação entre as distâncias dos IPP e o gIf. O gráfico dessa análise é apresentado na Figura 10.

### Figura 10

*Relação da distância IPP com o gIf da estação ITAI.*



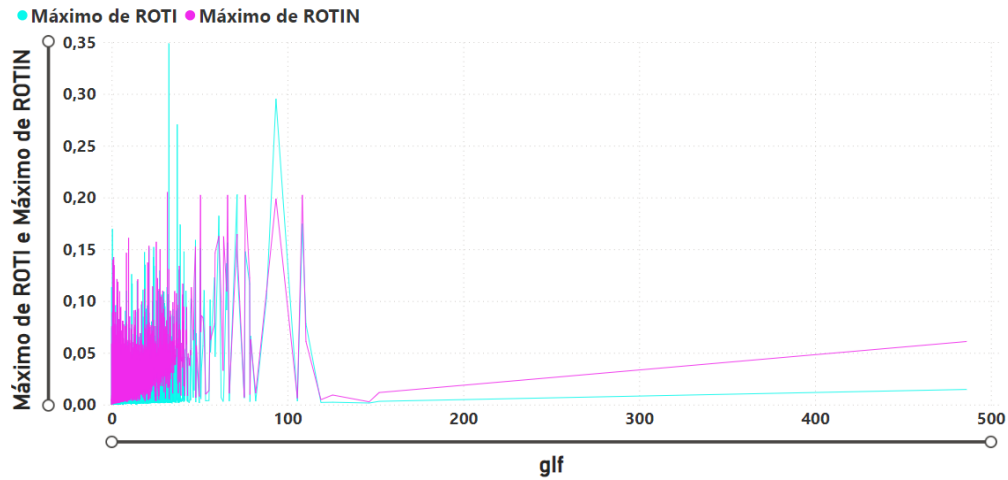
Os resultados mostraram que há uma grande densidade de valores de gradiente entre, aproximadamente, 3,5 km e 10 km de distância entre os IPP, para distâncias menores que 3 km e maiores que 10 km não existem valores de gradiente. Então conclui-se que para estimar gradientes de confiança a distância entre os IPP no espaço devem estar no intervalo supracitado, aproximadamente.

Por fim, foram relacionados o gIf, o ROTI e o ROTIN para todos os dias disponíveis. O gráfico é apresentado na Figura 11.



## Figura 11

Relação do *glf* com o *ROTI* e o *ROTIN* da estação *ITAI*.



Os resultados indicaram uma influência entre o gradiente e os níveis de irregularidades, comprovando que quanto maior o gradiente, maior é o nível de irregularidades, essa correspondência pode ser utilizada como uma forma de validação dos gradientes obtidos.

## 5 CONCLUSÃO

Os painéis de dados possibilitam o monitoramento das atividades ionosféricas na região oeste do Paraná utilizando as estações da RBMC, sem a necessidade de adquirir receptores geodésicos específicos. Essa técnica permitiu uma visão clara e organizada das irregularidades e gradientes ionosféricos para um período específico e para a região mencionada.

Percebeu-se uma concentração de altos valores das métricas *If*, *ROTIN* e *glf* no ápice do ciclo solar 25, correspondendo aos anos de 2022 e 2023, e uma variação sazonal da ionosfera (compreendida pelos meses de agosto a abril) para a região analisada. Tal informação auxilia na previsão de períodos com possíveis maiores ocorrências de irregularidades ionosféricas, já que elas são fontes de erros no posicionamento pelo GNSS.

Os gráficos de comparação da métrica *glf* com a elevação (Figuras 6 e 7) são utilizados pelo Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) para avaliar a viabilidade da adoção do GBAS e uma determinada região, e para a região do estudo, o GBAS se mostra viável, já que os valores da métrica não ultrapassam 425 mm/km. Em relação aos satélites, notou-se valores semelhantes para as métricas em diferentes satélites (Figuras 3, 4 e 5).

A dinâmica entre as orientações de maior intensidade das irregularidades ionosféricas e faixas de azimute dos satélites indicou a presença de bolhas ionosféricas em certas direções. A



identificação de saltos nos valores do DCBr possibilitou o reconhecimento de alterações ou atualizações nos instrumentos dos receptores. A relação entre a distância IPP e o gradiente ionosférico forneceu informações sobre a qualidade dos gradientes calculados. E, por fim, a correspondência entre os gradientes e os índices de irregularidades valida os gradientes obtidos.

Como perspectivas futuras, recomenda-se seguir acompanhando as ações na ionosfera na região oeste do Paraná a fim de investigar outras características e medidas ligadas às atividades ionosféricas, como também, aplicá-las às demais regiões do Brasil.

## REFERÊNCIAS

- Datta-Barua, S., Lee, J., Pullen, S., Luo, M., Ene, A., Qiu, D., ... & Enge, P. (2010). Ionospheric threat parameterization for local area global-positioning-system-based aircraft landing systems. *Journal of Aircraft*, 47(4), 1141-1151.
- da Silva, C. M., Júnior, P. D. T. S., Alves, D. B. M., & Monico, J. F. G. (2020). Galileo: a consolidação do sistema de posicionamento europeu. *Revista Brasileira de Geomática*, 8(4), 238-255.
- Ferrari, A., & Russo, M. (2016). *Introducing Microsoft Power BI*. Microsoft Press.
- IBGE. (2024). Ibge.gov.br. <https://www.ibge.gov.br/geociencias/>.
- Kaplan, E. D., & Hegarty, C. (Eds.). (2017). *Understanding GPS/GNSS: principles and applications*. Artech house.
- Microsoft. Power BI. Recuperado em 22 de agosto de 2023, de <https://learn.microsoft.com/en-us/power-bi/fundamentals/power-bi-overview>.
- Monico, J. F. G. (2007). *Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações*. Editora Unesp.
- Pereira, V. A. S. (2018). Investigação da usabilidade do GBAS no Brasil.
- Stuani Pereira, V. A., & de Oliveira Camargo, P. (2017). Brazilian active GNSS networks as systems for monitoring the ionosphere. *GPS Solutions*, 21(3), 1013-1025.