

## Painéis de dados para o monitoramento das atividades ionosféricas na região oeste do Paraná

### Data panels for monitoring ionospheric activities in the western region of Paraná

Amanda Oliveira da Silva<sup>1</sup>, Vinícius Amadeu Stuani Pereira<sup>2</sup>, Arlete Teresinha Beuren<sup>3</sup>

#### RESUMO

Este trabalho tem como objetivo explorar a visualização de dados para análise de eventos ionosféricos na região oeste do Paraná. Neste contexto foram criados painéis de dados que permitem o monitoramento das atividades ionosféricas utilizando as observáveis GNSS (*Global Navigation Satellite system*) das estações da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo de Sistemas GNSS) já existentes, sem a necessidade de aquisição de receptores geodésicos específicos. O principal resultado alcançado foi disponibilizar uma ferramenta que permite ao usuário verificar a intensidade das irregularidades e gradientes ionosféricos para uma data específica e para a região oeste paranaense. Essa abordagem não apenas simplifica o processo de monitoramento, mas também representa um avanço significativo na acessibilidade e na utilidade das informações sobre a ionosfera. Ao facilitar o acesso e a interpretação desses dados, essa pesquisa contribui para um melhor entendimento e previsibilidade das atividades ionosféricas na região, beneficiando tanto a comunidade científica quanto os setores práticos que dependem de comunicações e navegações precisas.

**PALAVRAS-CHAVE:** ionosfera; Power BI; RBMC.

#### ABSTRACT

This work aims to explore data visualization for analyzing ionospheric events in the western region of Paraná. In this context, data panels were created that allow the monitoring of ionospheric activities using existing GNSS (*Global Navigation Satellite system*) observables from RBMC (Brazilian Network for Continuous Monitoring of GNSS Systems) stations, without the need to acquire specific geodetic receivers. The main result achieved was to provide a tool that allows the user to check the intensity of irregularities and ionospheric gradients for a specific date and for the western region of Paraná. This approach not only simplifies the monitoring process, but also represents a significant advance in the accessibility and usefulness of information about the ionosphere. By facilitating access and interpretation of this data, this research contributes to a better understanding and predictability of ionospheric activities in the region, benefiting both the scientific community and practical sectors that depend on accurate communications and navigation.

**KEYWORDS:** ionosphere; Power BI; RBMC.

## INTRODUÇÃO

Este trabalho tem como objetivo explorar a visualização de dados para análise de eventos ionosféricos na região oeste do Paraná. A ionosfera desempenha um papel fundamental na transmissão de sinais de navegação por satélite, como os sinais GNSS (*Global Navigation Satellite System*), e suas irregularidades podem causar degradações transmitidas na qualidade dos sinais recebidos.

O monitoramento das atividades ionosféricas e a compreensão de suas características são essenciais para mitigar os efeitos adversos da ionosfera nos sistemas

<sup>1</sup> Bolsista Voluntária de Iniciação Científica e Tecnológica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Toledo, Paraná, Brasil. E-mail: [amanda.1999@alunos.utfpr.edu.br](mailto:amanda.1999@alunos.utfpr.edu.br). ID Lattes: 5667349211773193.

<sup>2</sup> Docente no Curso de Agronomia. Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Santa Helena, Paraná, Brasil. E-mail: [vpereira@utfpr.edu.br](mailto:vpereira@utfpr.edu.br). ID Lattes: 3206540313926848.

<sup>3</sup> Docente no Curso de Ciência da Computação. Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Santa Helena, Paraná, Brasil. E-mail: [arletebeuren@utfpr.edu.br](mailto:arletebeuren@utfpr.edu.br). ID Lattes: 0084145280240578.

de navegação. Nesse sentido, foi desenvolvido um projeto de pesquisa com o objetivo de criar painéis de dados para o monitoramento das atividades ionosféricas na região oeste do Paraná. O principal desafio enfrentado é disponibilizar uma ferramenta que permita verificar a intensidade das irregularidades e gradientes ionosféricos para uma data específica e para a região em estudo, sem a necessidade de adquirir receptores geodésicos específicos para o monitoramento da camada ionosférica. Além disso, busca-se relacionar os dados coletados com métricas relevantes, como atraso ionosférico obtido pela fase (If), índice de irregularidades ionosféricas (ROTI), gradiente ionosférico obtido pela fase (glf), tendência do instrumento do receptor (DCBr), distância entre os Pontos de Posição Ionosférica (IPP) e índice de irregularidades ionosféricas normalizado (ROTIN).

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 precisão e confiabilidade das aplicações projetadas em posicionamento por satélite.

Neste relatório, serão apresentados os relatórios obtidos por meio dos dados coletados. Além disso, serão estendidas possíveis aplicações e perspectivas futuras para o aprimoramento do monitoramento das atividades ionosféricas.

## FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O GNSS é um conjunto de sistemas de posicionamento e navegação que utiliza constelações de satélites em órbita ao redor da Terra para fornecer informações de tempo e localização aos receptores em qualquer ponto do planeta. Além do GPS (*Global Positioning System*), existem outros sistemas em operação, como o GLONASS (*Global Navigation Satellite System*) da Rússia, o Galileo da União Europeia e o BeiDou/Compass da China (PEREIRA, 2018; 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, transporte, Geodésia e muitas outras (KAPLAN; HEGARTY, 2017; PEREIRA, 2018).

A RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS) é 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 (PEREIRA, 2018).

A ionosfera é uma camada da atmosfera terrestre composta por partículas ionizadas, que interage 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. A cintilação ionosférica é um fenômeno caracterizado pela variação rápida e aleatória da intensidade do sinal GNSS devido a flutuações na ionosfera (PEREIRA, 2018).

Os relatórios e *dashboards* 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 controle que ajudam na compreensão e na tomada de decisões com base nos dados coletados (MICROSOFT, s.d.). No contexto deste trabalho, o uso do 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 usando o Power BI 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.

## METODOLOGIA

As métricas utilizadas para alimentar a plataforma foram obtidas por meio de um *script* implementado em linguagem C, chamado *lon\_Index* (PEREIRA; CAMARGO, 2017). Esse *script* foi desenvolvido pelo Prof. Dr. Vinicius Amadeu Stuaní Pereira e passou por algumas modificações para permitir sua execução dentro de um *script* escrito em Python, denominado *script* de controle da coleta.

O funcionamento do *script* *lon\_Index* baseia-se na execução do comando de linha com os dados como argumento. Por meio do *script* de controle da coleta, é realizado um laço de repetição para executar o *lon\_Index*, para todos os dias disponíveis entre 2017 e 2023, que realiza o download das efemérides e arquivos RINEX de observação correspondentes usando o *Wget*. Após o *download* concluído, o *lon\_Index* executa os pedidos necessários para obter as métricas de interesse, gerando um arquivo CSV para cada dia do período solicitado. Esses arquivos são armazenados em um Data Lake.

Em seguida, foi realizada uma etapa de limpeza, organização e concatenação dos dados por meio de um *script* em Python. Esse processo permitiu obter um arquivo CSV para cada uma das três estações utilizadas no estudo: ITAI (Foz do Iguaçu/PR), MSMN (Mundo Novo/MS) e PRCV (Cascavel/PR). Os dados resultantes foram armazenados em um Data Warehouse, prontos para serem utilizados nas análises subsequentes. A análise e geração de gráficos foram realizadas utilizando o software Power BI.

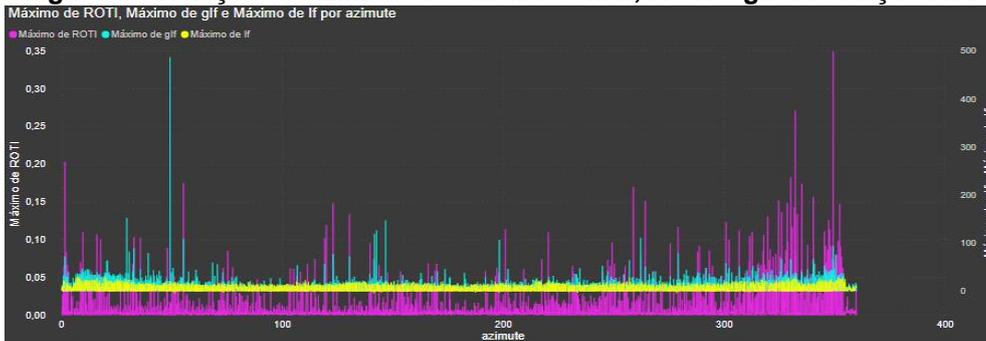
Essa abordagem metodológica permitiu explorar os dados coletados e fornecer uma compreensão mais aprofundada das atividades ionosféricas na região oeste do Paraná. Os resultados obtidos serão discutidos e analisados na seção seguinte deste relatório.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados são apresentados por meio de gráficos que fornecem uma visão clara e organizada das informações avançadas. A análise dos padrões observados nos gráficos relacionados ao azimute do satélite, *If*, *ROTI*, *glf*, *DCBr*, *distânciaIPP* e *ROTIN* permite

extrair *insights* relevantes sobre as atividades ionosféricas na região oeste do Paraná. Para não estender muito o artigo e já que os resultados de todas as estações contém resultados semelhantes, devido a proximidade, serão apresentados apenas os relatórios para ITAI. Na Figura 1 é relacionado o azimute com  $f_l$ , ROTI e  $glf$  para ITAI. Ressalta-se que são apresentados apenas os valores máximos diários de cada métrica.

**Figura 1 – Relação do azimute do satélite com  $f_l$ , ROTI e  $glf$  da estação ITAI**

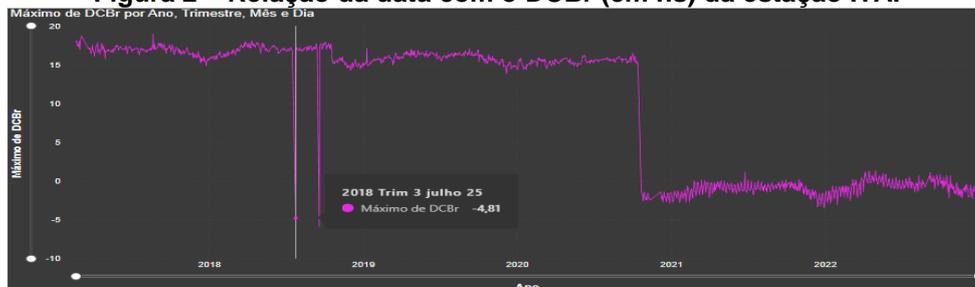


Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

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  $0^\circ$  e  $100^\circ$  e entre  $270^\circ$  e  $360^\circ$ , 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 2 para a estação ITAI.

**Figura 2 – Relação da data com o DCBr (em ns) da estação ITAI**

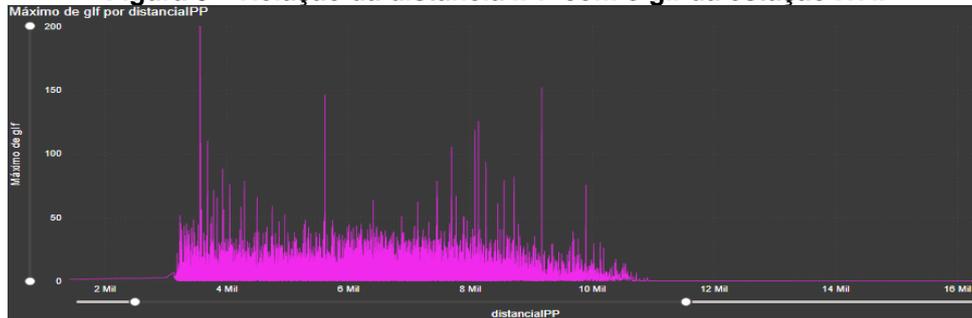


Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

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*). A visualização dos dados por meio de gráficos de linhas permitiu identificar os dias em que ocorreram tais saltos nos valores de DCBr. 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 2 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 de Estação ITAI.

Outra análise realizada foi a relação entre as distâncias dos IPP e o  $glf$ . O gráfico dessa terceira análise é apresentado na Figura 3 para a estação ITAI.

Figura 3 – Relação da distância IPP com o glf da estação ITAI

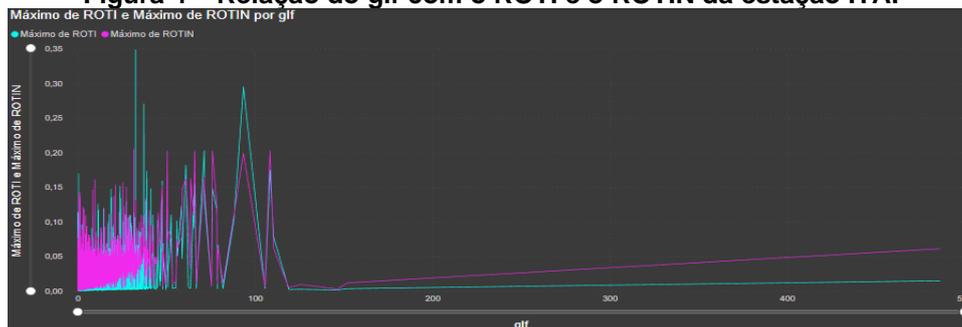


Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

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 glf, o ROTI e o ROTIN para todos os dias disponíveis. O gráfico desta quarta análise é apresentado na Figura 4 para a estação ITAI.

Figura 4 – Relação do glf com o ROTI e o ROTIN da estação ITAI



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

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.

## CONCLUSÕES

Os painéis de dados acompanhados neste projeto possibilitaram o monitoramento das atividades ionosféricas na região oeste do Paraná utilizando as estações da RBMC, sem a necessidade de adquirir receptores geodésicos específicos. Essa ferramenta permitiu uma visão clara e organizada das irregularidades e gradientes ionosféricos para uma data específica e para a região mencionada.

As análises realizadas com base nos painéis de dados permitem obter *insights* relevantes sobre as atividades ionosféricas na região. 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 sugere-se a continuidade do monitoramento e análise das atividades ionosféricas na região do oeste do Paraná, buscando uma identificação de padrões de ocorrência das irregularidades e aprimorando a visualização dos dados por meio dos painéis integrados.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) pela oportunidade de participar do programa de iniciação científica como bolsista voluntário. Além disso, gostaria de expressar minha profunda gratidão à Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) pela generosa disponibilização dos dados das estações. A colaboração da RBMC foi fundamental para o sucesso deste projeto.

## CONFLITO DE INTERESSE

Não há conflito de interesse

## REFERÊNCIAS

FERRARI, A.; RUSSO, M. **Introducing Microsoft Power BI**. Washington: Microsoft Press, 2016.

KAPLAN, E. D.; HEGARTY, C. J. **Understanding GPS/GNSS Principles and Applications**. Boston e London: Artech House, 2017.

MICROSOFT. **O que é o Power BI?** [S.l.]. Disponível em: <<https://learn.microsoft.com/en-us/power-bi/fundamentals/power-bi-overview>>. Acesso em: 22 ago. 2023.

PEREIRA, V. A. S. **Investigação da usabilidade do GBAS no Brasil**. Tese de Doutorado em Ciências Cartográficas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Presidente Prudente, 2018. 304p.

PEREIRA, V. A. S.; CAMARGO, P. O. Brazilian active GNSS networks as systems for monitoring the ionosphere. **GPS Solutions**, v. 21, n. 3, p. 1013–1025, 2017.

SILVA, C. M.; SETTI JÚNIOR, P. T.; ALVES, D. B. M.; MONICO, J. F. G. Galileo: a consolidação do sistema de posicionamento europeu. **Revista Brasileira de Geomática**, v. 8, n. 4, p. 238–255, 2020.