

Estudos em Ciências Exatas e da Terra

Desafios, Avanços e Possibilidades

Alireza Mohebi Ashtiani
(organizador)

VOL II

 EDITORA
ARTEMIS
2024

Estudos em Ciências Exatas e da Terra

Desafios, Avanços e Possibilidades

Alireza Mohebi Ashtiani
(organizador)

VOL II



EDITORA
ARTEMIS
2024



O conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons Atribuição-Não-Comercial NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0). Direitos para esta edição cedidos à Editora Artemis pelos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento, desde que sejam atribuídos créditos aos autores, e sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

A responsabilidade pelo conteúdo dos artigos e seus dados, em sua forma, correção e confiabilidade é exclusiva dos autores. A Editora Artemis, em seu compromisso de manter e aperfeiçoar a qualidade e confiabilidade dos trabalhos que publica, conduz a avaliação cega pelos pares de todos manuscritos publicados, com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

| | |
|--------------------------|--|
| Editora Chefe | Prof. ^a Dr. ^a Antonella Carvalho de Oliveira |
| Editora Executiva | M. ^a Viviane Carvalho Mocellin |
| Direção de Arte | M. ^a Bruna Bejarano |
| Diagramação | Elisangela Abreu |
| Organizador | Prof. Dr. Alireza Mohebi Ashtiani |
| Imagem da Capa | Abstract Style Landscapes /123RF |
| Bibliotecário | Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422 |

Conselho Editorial

Prof.^a Dr.^a Ada Esther Portero Ricol, *Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”*, Cuba
Prof. Dr. Adalberto de Paula Paranhos, *Universidade Federal de Uberlândia*, Brasil
Prof. Dr. Agustín Olmos Cruz, *Universidad Autónoma del Estado de México*, México
Prof.^a Dr.^a Amanda Ramalho de Freitas Brito, *Universidade Federal da Paraíba*, Brasil
Prof.^a Dr.^a Ana Clara Monteverde, *Universidad de Buenos Aires*, Argentina
Prof.^a Dr.^a Ana Júlia Viamonte, *Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP)*, Portugal
Prof. Dr. Ángel Mujica Sánchez, *Universidad Nacional del Altiplano*, Peru
Prof.^a Dr.^a Angela Ester Mallmann Centenaro, *Universidade do Estado de Mato Grosso*, Brasil
Prof.^a Dr.^a Begoña Blandón González, *Universidad de Sevilla*, Espanha
Prof.^a Dr.^a Carmen Pimentel, *Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro*, Brasil
Prof.^a Dr.^a Catarina Castro, *Universidade Nova de Lisboa*, Portugal
Prof.^a Dr.^a Círcia Cervera Delgado, *Universidad de Guanajuato*, México
Prof.^a Dr.^a Cláudia Neves, *Universidade Aberta de Portugal*
Prof.^a Dr.^a Cláudia Padovesi Fonseca, *Universidade de Brasília-DF*, Brasil
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos, *Universidade Federal da Grande Dourados*, Brasil
Prof. Dr. Cristo Ernesto Yáñez León – *New Jersey Institute of Technology*, Newark, NJ, Estados Unidos
Prof. Dr. David García-Martul, *Universidad Rey Juan Carlos de Madrid*, Espanha
Prof.^a Dr.^a Deuzimar Costa Serra, *Universidade Estadual do Maranhão*, Brasil
Prof.^a Dr.^a Dina Maria Martins Ferreira, *Universidade Estadual do Ceará*, Brasil
Prof.^a Dr.^a Edith Luévano-Hipólito, *Universidad Autónoma de Nuevo León*, México
Prof.^a Dr.^a Eduarda Maria Rocha Teles de Castro Coelho, *Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro*, Portugal
Prof. Dr. Eduardo Eugênio Spers, *Universidade de São Paulo (USP)*, Brasil
Prof. Dr. Eloi Martins Senhoras, *Universidade Federal de Roraima*, Brasil
Prof.^a Dr.^a Elvira Laura Hernández Carballido, *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*, México



Prof.^a Dr.^a Emilas Darlene Carmen Lebus, *Universidad Nacional del Nordeste/ Universidad Tecnológica Nacional, Argentina*
Prof.^a Dr.^a Erla Mariela Morales Morgado, *Universidad de Salamanca, Espanha*
Prof. Dr. Ernesto Cristina, *Universidad de la República, Uruguay*
Prof. Dr. Ernesto Ramírez-Briones, *Universidad de Guadalajara, México*
Prof. Dr. Fernando Hitt, *Université du Québec à Montréal, Canadá*
Prof. Dr. Gabriel Díaz Cobos, *Universitat de Barcelona, Espanha*
Prof.^a Dr.^a Gabriela Gonçalves, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Portugal
Prof.^a Dr.^a Galina Gumovskaya – Higher School of Economics, Moscow, Russia
Prof. Dr. Geoffroy Roger Pointer Malpass, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Brasil
Prof.^a Dr.^a Gladys Esther Leoz, *Universidad Nacional de San Luis, Argentina*
Prof.^a Dr.^a Glória Beatriz Álvarez, *Universidad de Buenos Aires, Argentina*
Prof. Dr. Gonçalo Poeta Fernandes, Instituto Politécnico da Guarda, Portugal
Prof. Dr. Gustavo Adolfo Juarez, *Universidad Nacional de Catamarca, Argentina*
Prof. Dr. Guillermo Julián González-Pérez, *Universidad de Guadalajara, México*
Prof. Dr. Håkan Karlsson, *University of Gothenburg, Suécia*
Prof.^a Dr.^a Iara Lúcia Tescarollo Dias, Universidade São Francisco, Brasil
Prof.^a Dr.^a Isabel del Rosario Chiyon Carrasco, *Universidad de Piura, Peru*
Prof.^a Dr.^a Isabel Yohena, *Universidad de Buenos Aires, Argentina*
Prof. Dr. Ivan Amaro, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil
Prof. Dr. Iván Ramon Sánchez Soto, *Universidad del Bío-Bío, Chile*
Prof.^a Dr.^a Ivânia Maria Carneiro Vieira, Universidade Federal do Amazonas, Brasil
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz, *University of Miami and Miami Dade College, Estados Unidos*
Prof. Dr. Jesús Montero Martínez, *Universidad de Castilla - La Mancha, Espanha*
Prof. Dr. João Manuel Pereira Ramalho Serrano, Universidade de Évora, Portugal
Prof. Dr. Joaquim Júlio Almeida Júnior, UniFIMES - Centro Universitário de Mineiros, Brasil
Prof. Dr. Jorge Ernesto Bartolucci, *Universidad Nacional Autónoma de México, México*
Prof. Dr. José Cortez Godinez, Universidad Autónoma de Baja California, México
Prof. Dr. Juan Carlos Cancino Diaz, Instituto Politécnico Nacional, México
Prof. Dr. Juan Carlos Mosquera Feijoo, *Universidad Politécnica de Madrid, Espanha*
Prof. Dr. Juan Diego Parra Valencia, *Instituto Tecnológico Metropolitano de Medellín, Colômbia*
Prof. Dr. Juan Manuel Sánchez-Yáñez, *Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México*
Prof. Dr. Juan Porras Pulido, *Universidad Nacional Autónoma de México, México*
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil
Prof. Dr. Leinig Antonio Perazolli, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Brasil
Prof.^a Dr.^a Livia do Carmo, Universidade Federal de Goiás, Brasil
Prof.^a Dr.^a Luciane Spanhol Bordignon, Universidade de Passo Fundo, Brasil
Prof. Dr. Luis Fernando González Beltrán, *Universidad Nacional Autónoma de México, México*
Prof. Dr. Luis Vicente Amador Muñoz, *Universidad Pablo de Olavide, Espanha*
Prof.^a Dr.^a Macarena Esteban Ibáñez, *Universidad Pablo de Olavide, Espanha*
Prof. Dr. Manuel Ramiro Rodriguez, *Universidad Santiago de Compostela, Espanha*
Prof. Dr. Manuel Simões, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal
Prof.^a Dr.^a Márcia de Souza Luz Freitas, Universidade Federal de Itajubá, Brasil
Prof. Dr. Marcos Augusto de Lima Nobre, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Brasil
Prof. Dr. Marcos Vinicius Meiado, Universidade Federal de Sergipe, Brasil
Prof.^a Dr.^a Mar Garrido Román, *Universidad de Granada, Espanha*
Prof.^a Dr.^a Margarida Márcia Fernandes Lima, Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil
Prof.^a Dr.^a María Alejandra Arecco, *Universidad de Buenos Aires, Argentina*
Prof.^a Dr.^a Maria Aparecida José de Oliveira, Universidade Federal da Bahia, Brasil
Prof.^a Dr.^a Maria Carmen Pastor, *Universitat Jaume I, Espanha*

Prof.ª Dr.ª Maria da Luz Vale Dias – Universidade de Coimbra, Portugal
Prof.ª Dr.ª Maria do Céu Caetano, Universidade Nova de Lisboa, Portugal
Prof.ª Dr.ª Maria do Socorro Saraiva Pinheiro, Universidade Federal do Maranhão, Brasil
Prof.ª Dr.ª MªGraça Pereira, Universidade do Minho, Portugal
Prof.ª Dr.ª Maria Gracinda Carvalho Teixeira, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil
Prof.ª Dr.ª María Guadalupe Vega-López, *Universidad de Guadalajara, México*
Prof.ª Dr.ª Maria Lúcia Pato, Instituto Politécnico de Viseu, Portugal
Prof.ª Dr.ª Maritza González Moreno, *Universidad Tecnológica de La Habana, Cuba*
Prof.ª Dr.ª Mauriceia Silva de Paula Vieira, Universidade Federal de Lavras, Brasil
Prof. Dr. Melchor Gómez Pérez, *Universidad del Pais Vasco, Espanha*
Prof.ª Dr.ª Ninfa María Rosas-García, Centro de Biotecnología Genómica-Instituto Politécnico Nacional, México
Prof.ª Dr.ª Odara Horta Boscolo, Universidade Federal Fluminense, Brasil
Prof. Dr. Osbaldo Turpo-Gebera, *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Peru*
Prof.ª Dr.ª Patrícia Vasconcelos Almeida, Universidade Federal de Lavras, Brasil
Prof.ª Dr.ª Paula Arcoverde Cavalcanti, Universidade do Estado da Bahia, Brasil
Prof. Dr. Rodrigo Marques de Almeida Guerra, Universidade Federal do Pará, Brasil
Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares, Universidade Federal do Piauí, Brasil
Prof. Dr. Sérgio Bitencourt Araújo Barros, Universidade Federal do Piauí, Brasil
Prof. Dr. Sérgio Luiz do Amaral Moretti, Universidade Federal de Uberlândia, Brasil
Prof.ª Dr.ª Silvia Inés del Valle Navarro, *Universidad Nacional de Catamarca, Argentina*
Prof.ª Dr.ª Solange Kazumi Sakata, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN)- USP, Brasil
Prof.ª Dr.ª Stanislava Kashtanova, *Saint Petersburg State University, Russia*
Prof.ª Dr.ª Susana Álvarez Otero – *Universidad de Oviedo, Espanha*
Prof.ª Dr.ª Teresa Cardoso, Universidade Aberta de Portugal
Prof.ª Dr.ª Teresa Monteiro Seixas, Universidade do Porto, Portugal
Prof. Dr. Valter Machado da Fonseca, Universidade Federal de Viçosa, Brasil
Prof.ª Dr.ª Vanessa Bordin Viera, Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
Prof.ª Dr.ª Vera Lúcia Vasilévski dos Santos Araújo, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil
Prof. Dr. Wilson Noé Garcés Aguilar, *Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, Colômbia*
Prof. Dr. Xosé Somoza Medina, *Universidad de León, Espanha*

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

E82 Estudos em Ciências Exatas e da Terra: Desafios, Avanços e Possibilidades II / Organizador Alireza Mohebi Ashtiani. – Curitiba, PR: Artemis, 2024.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

Edição bilíngue

ISBN 978-65-81701-39-0

DOI 10.37572/EdArt_271124390

1. Ciências exatas e da terra – Pesquisa – Brasil. I. Ashtiani, Alireza Mohebi.

CDD 509

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

INTRODUÇÃO

A coletânea *Estudos em Ciências Exatas e da Terra: Desafios, Avanços e Possibilidades II* reúne contribuições significativas nas áreas de geociências, engenharia e física, com um foco particular na análise e solução de problemas complexos em diferentes contextos e regiões do mundo. Os artigos apresentados neste volume abordam desde questões geológicas e ambientais até modelos matemáticos avançados aplicados a problemas práticos, evidenciando a diversidade e a riqueza dos desafios contemporâneos enfrentados por pesquisadores nas Ciências Exatas e da Terra.

O primeiro artigo, *Feições Erosivas em Vargem Alta (Espírito Santo, Brasil)*, trata das dinâmicas de erosão no município de Vargem Alta, com um olhar atento aos processos naturais e suas consequências para o meio ambiente local. Em seguida, *Análise de Estabilidade de Talude no Município de Vargem Alta (ES)* oferece uma análise detalhada sobre a estabilidade de taludes e suas implicações para a segurança das áreas urbanas e rurais afetadas.

No artigo *Contribuição para o Zoneamento de Risco de Inundações Urbanas no Município de Lichinga, Província de Niassa, Moçambique*, o foco se desloca para a aplicação de metodologias para o zoneamento de risco de inundações, um tema de grande importância para o planejamento urbano e a segurança das populações em regiões vulneráveis.

No trabalho *Paleocanais na Plataforma Continental Interna do Rio Grande: Evidências de Variações Eustáticas Durante o Quaternário*, os autores investigam as evidências geológicas de mudanças eustáticas, proporcionando uma compreensão mais profunda dos eventos climáticos e ambientais que marcaram a história do planeta.

No campo da geografia e da agricultura, *Consolidação de Terras Agrícolas (Estudo de Caso Russo)* apresenta um estudo de caso sobre a reorganização da agricultura em uma região da Rússia, discutindo a viabilidade de práticas de consolidação de terras para otimizar o uso da terra e aumentar a produção agrícola.

Seguindo para a física aplicada, o artigo *1D Space-Time Solution of the Species Diffusion Equation with Double Entry Boundary in Spherical Foods* explora soluções matemáticas para a equação de difusão de espécies, com aplicação no setor alimentício, focando na modelagem de processos dentro de esferas alimentícias.

Em seguida, *Modelo Matemático de Difracción en Región de Fresnel Convergente y Divergente de una Lente Esférica* apresenta um modelo matemático inovador para a difração da luz em lentes esféricas, contribuindo para o campo da óptica e suas aplicações.

Por fim, *Caracterización de los Efectos de una Fulguración Solar* discute os impactos de eventos solares extremos, com foco nas implicações para a física espacial e para a proteção de tecnologias modernas sensíveis, como satélites e sistemas de comunicação.

Como é possível observar, este volume é uma contribuição valiosa para o avanço das Ciências Exatas e da Terra, apresentando uma ampla gama de pesquisas que têm o potencial de influenciar práticas em diversas áreas, desde a mitigação de riscos ambientais até o desenvolvimento de novas tecnologias e abordagens inovadoras em várias disciplinas. A variedade de temas e abordagens evidenciam a complexidade dos desafios que os pesquisadores enfrentam atualmente e reforçam a importância da colaboração interdisciplinar para o progresso científico.

Desejo a todos uma proveitosa leitura!

Alireza Mohebi Ashtiani

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

FEIÇÕES EROSIVAS EM VARGEM ALTA (ESPÍRITO SANTO, BRASIL)

Éder Carlos Moreira

Leonardo Coelho Fabrino Filho

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2711243901

CAPÍTULO 2..... 15

ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE TALUDE NO MUNICÍPIO DE VARGEM ALTA (ES)

Éder Carlos Moreira

Eric José Cerqueira Gonçalves

Thiago Curty Vimercati

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2711243902

CAPÍTULO 3..... 27

CONTRIBUIÇÃO PARA O ZONEAMENTO DE RISCO DE INUNDAÇÕES URBANAS NO MUNICÍPIO DE LICHINGA, PROVÍNCIA DE NIASSA, MOÇAMBIQUE

Americo José Fombe

Gustavo Sobrinho Dgedge

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2711243903

CAPÍTULO 4..... 47

PALEOCANAIS NA PLATAFORMA CONTINENTAL INTERNA DO RIO GRANDE: EVIDÊNCIAS DE VARIAÇÕES EUSTÁTICAS DURANTE O QUATERNÁRIO

Laurício Corrêa Terra

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2711243904

CAPÍTULO 5..... 56

AGRICULTURAL LAND CONSOLIDATION (RUSSIAN CASE STUDY)

Alexander Sagaydak

Anna Sagaydak

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2711243905

CAPÍTULO 6..... 64

1D SPACE-TIME SOLUTION OF THE SPECIES DIFFUSION EQUATION WITH DOUBLE ENTRY BOUNDARY IN SPHERICAL FOODS

Juan Ignacio González Pacheco

Mariela Beatriz Maldonado

Ariel Fernando Márquez Agüero

Paula Anabella Giorlando Videla

Leonel Nicolás Lisanti

Carla Rocío Zaragoza

Oscar Daniel Galvez

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2711243906

CAPÍTULO 7 85

MODELO MATEMÁTICO DE DIFRACCIÓN EN REGIÓN DE FRESNEL CONVERGENTE Y DIVERGENTE DE UNA LENTE ESFÉRICA

Esteban Andrés Zárate

Quintiliano Angulo Córdova

Marian Cristina Ricárdez Torres

Omar Morales Alejos

Israel Benjamín Sánchez Jiménez

José Adán Hernández Nolasco

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2711243907

CAPÍTULO 8..... 100

CARACTERIZACIÓN DE LOS EFECTOS DE UNA FULGURACIÓN SOLAR

Guillermo Daniel Rodriguez

Ricardo Ezequiel Garcia

Leonardo José Navarría

Nicolas Quaglino

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2711243908

SOBRE O ORGANIZADOR.....112

ÍNDICE REMISSIVO 113

CAPÍTULO 8

CARACTERIZACIÓN DE LOS EFECTOS DE UNA FULGURACIÓN SOLAR

Data de submissão: 20/11/2024

Data de aceite: 26/11/2024

Nicolas Quaglino

Tec. Facultad de Ciencias
Astronómicas y Geofísicas
Universidad Nacional de La Plata
La Plata, Pcia. de Buenos Aires
Argentina

Guillermo Daniel Rodriguez

Ing. en Electrónica
Grupo de Investigación y
Desarrollo en Radiofrecuencias e
Instrumentación (GIDRI)
Facultad de Ciencias
Astronómicas y Geofísicas
Universidad Nacional de La Plata
La Plata, Pcia. de Buenos Aires, Argentina

Ricardo Ezequiel Garcia

Ing. en Electrónica
Grupo de Investigación y
Desarrollo en Radiofrecuencias e
Instrumentación
Facultad de Ciencias
Astronómicas y Geofísicas
Universidad Nacional de La Plata
La Plata, Pcia. de Buenos Aires, Argentina

Leonardo José Navarría

Ing. en Electrónica
Grupo de Investigación y
Desarrollo en Radiofrecuencias e
Instrumentación
Facultad de Ciencias
Astronómicas y Geofísicas
Universidad Nacional de La Plata
La Plata Pcia. de Buenos Aires, Argentina

RESUMEN: Se presenta en este trabajo, un análisis sobre la posibilidad que ofrecen herramientas simples y de bajo costo, para el estudio de fenómenos de climatología espacial. Se desarrolla, a modo de ejemplo, el análisis de una fulguración solar ocurrida el día 11 de Marzo de 2015, la cual fue caracterizado por la National Aeronautics and Space Administration de los Estados Unidos (NASA) como un evento X2,2. Se evalúan los efectos de la misma en las diferentes capas ionosféricas y los efectos sobre el campo magnético terrestre a nivel de superficie a través del análisis de las mediciones efectuadas con instrumental instalado en la República Argentina. Se emplean datos provenientes de los siguientes instrumentos: riómetro cenital, riómetro de imágenes (imaging riometer), magnetómetros tipo Flux Gate y de precesión protónica y finalmente sondadores ionosféricos (ionosondas).

PALABRAS CLAVE: Riómetro. Ionosonda. Fulguración. Sol. Magnetómetro. Climatología. Espacial.

CHARACTERIZATION OF THE EFFECTS OF A SOLAR FLARE

ABSTRACT: We present in this work, an analysis of the possibilities that simple and inexpensive tools offer to study space weather. We deploy here an example analyzing a flare that occurred on 03/11/2015, that reached an X2.2 intensity (by Solar Dynamic Observatory, NASA, USA). The effects of this phenomenon at several ionospheric layers and on the surface geomagnetic field, through the analysis of measurements made with instruments placed at Republica Argentina. We employ data provided by: An cenital riometer and an Imaging riometer, ionosondes, protonic precesion magnetometer and flux gate magnetometers.

KEYWORDS: Riometer. Ionosonde. Flare. Sun. Magnetometer. Space. Weather.

1 INTRODUCCION

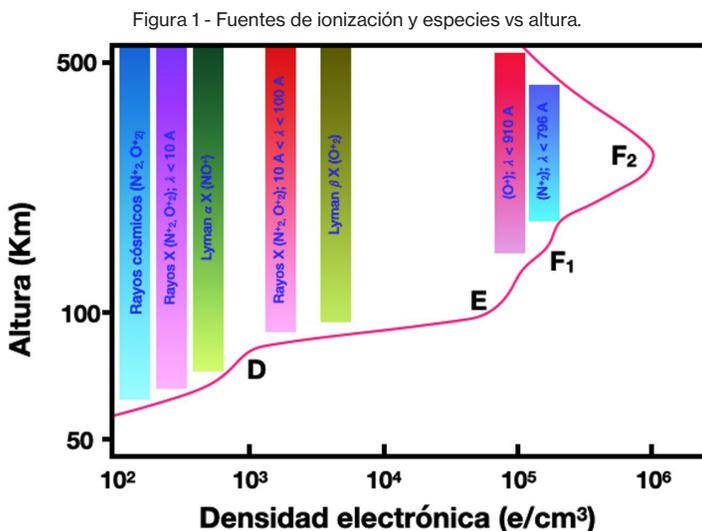
Existe dentro de lo que llamamos atmósfera terrestre, una región denominada ionósfera, ubicada entre los 60 y los 1000 km, la cual está compuesta por un plasma (el cuarto estado de la materia).

Este plasma que la conforma se caracteriza de acuerdo a la densidad de partículas con carga eléctrica (iones y electrones) con la altura. Este perfil de densidad presenta una estratificación en capas, denominadas D, E y F (F_1 y F_2) que debe su origen a la variación en la composición de especies atómicas con la altura y la penetración de los agentes ionizantes, situación que provoca la mencionada estratificación.

La capa E se caracteriza por encontrarse a una altura entre los 90 y los 130 km aproximadamente con preponderancia de iones N_2 , O_2 , O y NO, pudiendo también poseer iones metálicos de origen meteorítico. La capa D es la más baja de la ionósfera ubicándose entre los 60 y los 90 km y se puede considerar la porción más compleja de la ionósfera por la gran variedad de especies atómicas que posee y que están sometidas a alta presión comparada con otras capas pudiéndose encontrar densidades electrónicas del orden de 10^3 cm^{-3} . Por otro lado los procesos de ionización de las capas D y E son dependientes de la latitud. Para bajas y medias latitudes existen dos fuentes de ionización, una fuente solar (radiación y partículas solares) y otra, los rayos cósmicos galácticos. En condiciones normales, la principal fuente de ionización por debajo de 65 km son los rayos cósmicos. A partir de alrededor de los 85 km la radiación Lyman- α se convierte en la principal fuente de foto-ionización de NO (1100-1300 Å), y por encima de este punto, la foto-ionización se debe a los rayos X con longitud de onda menores a los 100 Å y a la radiación ultravioleta con una longitud de onda menor a los 1030 Å. (Banks y Kockarts, 1973) (Figura 1).

En altas latitudes, a los procesos antes mencionados se le suman los de ionización por precipitación de partículas de alta energía desde la magnetósfera, en especial durante periodos geomagneticamente perturbados.

Diferentes técnicas de radio han sido utilizadas para el estudio de la ionósfera, cada una con sus distintos alcances. Así por ejemplo tenemos a los radares de dispersión incoherente, complejos y costosos equipos, que brindan la información más detallada o las ionosondas y riómetros que posibilitan estudios limitados (Hunsucker, 1991), pero con equipamiento más económico.



2 CARACTERÍSTICAS DE DETECCIÓN SEGUN TIPO DE INSTRUMENTO

Como ya se estableció, la ionosfera depende fuertemente de los fenómenos solares tales como eyecciones de masa coronal o fulguraciones, el análisis de su estado permite detectar y eventualmente caracterizar la ocurrencia de estos eventos de climatología espacial. Abordamos entonces aquí, a modo de ejemplificar el potencial de las herramientas mencionadas, el análisis de una fulguración solar ocurrida el día 11 de Marzo del año 2015, empleando datos obtenidos mediante ionosondas, riómetros y magnetómetros. La elección de la fecha, obedece a que la fulguración solar ocurrió en horas del mediodía local para América del Sur, permitiendo este hecho, la mayor sensibilidad en todo el instrumental empleado (figura 2). Se presenta en la figura 3, la distribución espacial del instrumental empleado.

Figura 2: Estimación de Absorción vs zona de afectación (spaceweather.com)

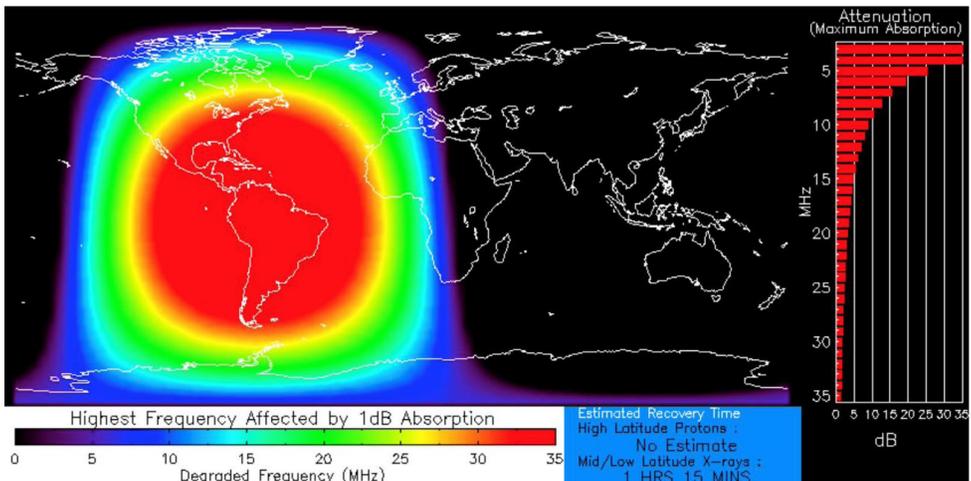
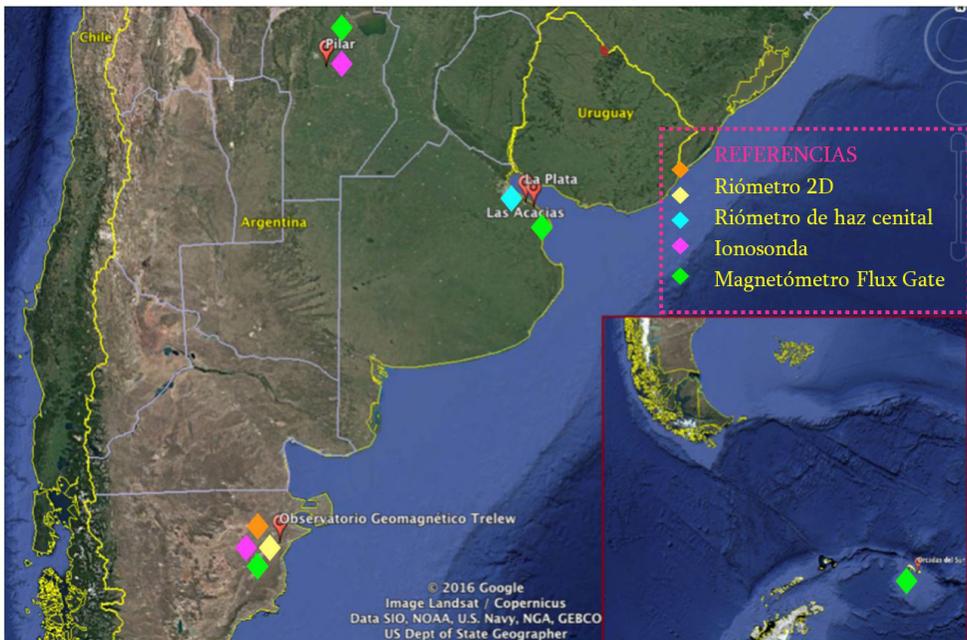


Figura 3 - Distribución geográfica del instrumental empleado.

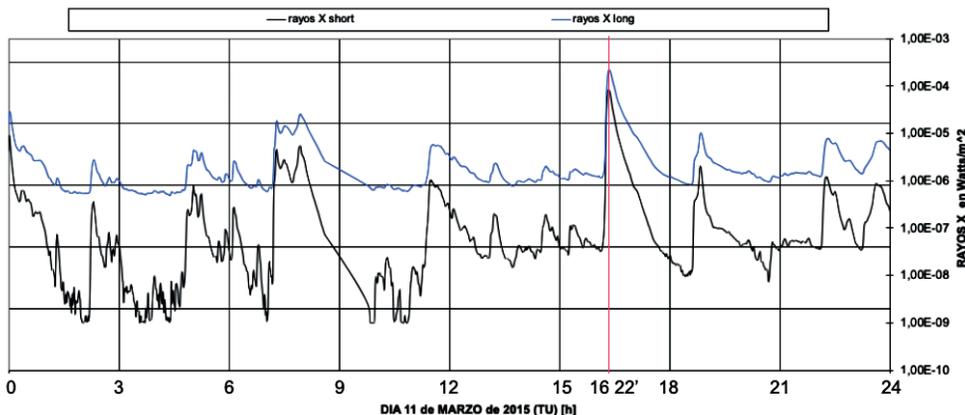


2.1 DATOS DE REFERENCIA

Se emplea como elemento de referencia, los datos de rayos X medidos por los sensores a bordo de los satélites GOES (NASA). Dicha red de satélites, orbita nuestro planeta por fuera de nuestra ionosfera, en órbitas geoestacionarias, a unos 35800 Km de

la superficie terrestre. El registro (figura 4), muestra el abrupto cambio en los niveles de rayos X, tanto largos como cortos (partes baja y alta del espectro de frecuencias para los rayos X), a las 16:22 del día 11/03/2015, siendo esta prueba fehaciente de que los efectos de una fulguración solar ha alcanzado al satélite en ese instante (y como máximo, la superficie terrestre 0,013 seg. después).

Figura 4 - Registro de rayos X cortos y largos en satélite GOES 15 el 11/03/2015.



2.2 IONOSONDA

Se utilizan datos de las ionosondas emplazadas en: la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de la Universidad Nacional de La Plata, La Plata, provincia de Buenos Aires y en la Dirección de Investigación de la Armada (DIIV), Ciudad de Buenos Aires, Argentina. Dicho instrumento, es un radar que opera efectuando un barrido en el rango de frecuencias de 1 a 30 MHz, obteniendo el tiempo en el cuál retorna el eco de la señal, que es reflejada por la ionosfera, determinando así la altura a la cuál se produjo la reflexión. El hecho de emplear diferentes frecuencias, permite obtener ecos con diferentes densidades de carga, ya que para que se produzca esta reflexión, la condición necesaria es que:

$$f_{\text{señal}} \leq f_{\text{plasma}} = 8,98 \sqrt{N_e} \quad \text{Ecuación 1}$$

donde N_e es la densidad de electrones libres y la frecuencia del plasma, expresa la frecuencia natural de resonancia del plasma [Hargreaves, 1992].

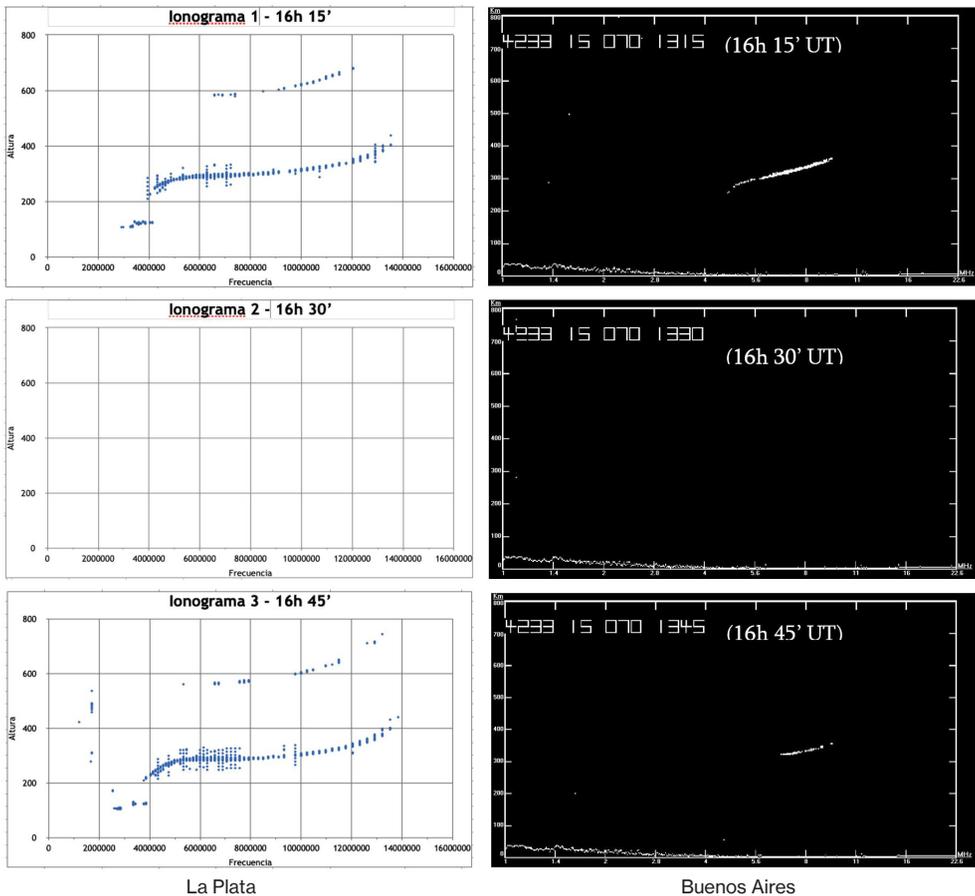
Por tanto, el resultado que ofrece este instrumento, denominado ionograma (figura 5), es un perfil de altura de reflexión vs frecuencia, hasta el máximo valor de densidades encontradas en ese instante. Cabe aclarar aquí que en este primer perfil, se considera en primera instancia que la onda electromagnética se propaga en el vacío, siendo entonces

c ($=3 \cdot 10^8$ m/s) su velocidad de propagación. dado que el medio atmosférico presenta un índice de refracción relativo diferente de 1 ($\eta_{\text{atmósfera}} \neq \eta_{\text{vacío}} = 1$), debe efectuarse a posteriori una corrección que considere este aspecto y hablamos entonces en el original de alturas *virtuales*. Este perfil con alturas *virtuales* nos permite obtener, mediante la ecuación 2, y la corrección de alturas mencionada, el perfil deseado de densidades de carga vs la altura.

Para nuestra fecha de interés, los instrumentos se encontraban configurados para realizar sondeos cada 15 minutos. Puesto que el evento ocurrió a las 16:22, el ionograma más cercano es el de las 16:30. Se muestran entonces en la figura 5, los ionogramas correspondientes a las 16:15, 16:30 y 16:45.

Allí se observa que los ionogramas 1 y 3, no presentan diferencias sustanciales en el comportamiento de la ionosfera, en tanto que el ionograma 2 no presenta traza.

Figura 5 - Ionogramas a la hora del evento solar.



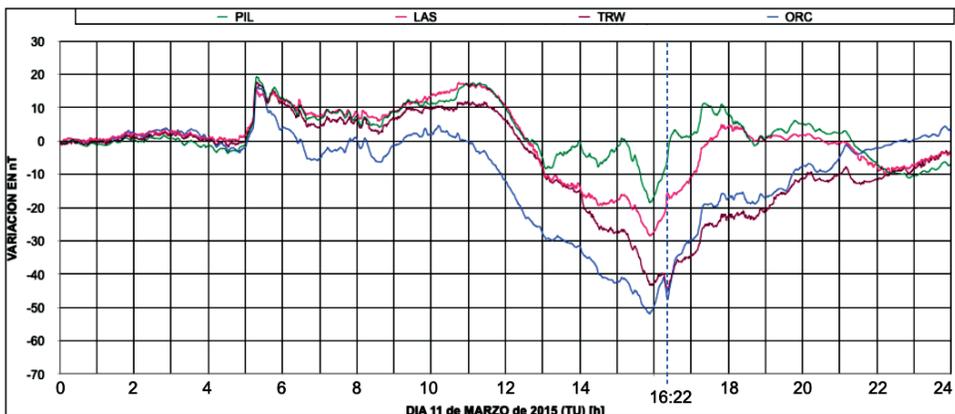
La explicación de este fenómeno es la siguiente: a las 16:15, la ionosfera se encuentra normal y se obtiene el producto esperado (ionograma) con el perfil ionosférico típico de la hora y la estación. El arribo de rayos X de gran intensidad ocurre a las 16:22, generando fundamentalmente un incremento notorio de cargas libres en la capa D.

La situación allí, es que a esa altura existe por defecto una gran densidad de moléculas, y al crecer mucho la densidad de cargas, se incrementa notoriamente la frecuencia de colisión entre partículas. Debido a esta alta densidad de colisiones, las ondas provenientes del radar, son absorbidas, en lugar de atravesar esa región y producir una reflexión a mayores alturas como ocurre en las condiciones normales, dando lugar al ionograma 2, en el cual no se registra eco. Para las 16:45, la situación de la capa D ya es prácticamente normal nuevamente, dando un ionograma semejante al 1.

2.3 MAGNETOMETROS

Se emplean datos de magnetómetros ubicados en la República Argentina, particularmente los de: Islas Orcadas (Atlántico Sur), Trelew (Pcia. de Chubut), Las Acacias (Pcia. de Buenos Aires) y Pilar (Pcia. de Córdoba). La relación entre una fulguración solar y el campo magnético terrestre, radica en el hecho de que la primera, como ya se estableció, incrementa la densidad de electrones libres en la ionosfera, por tanto, las corrientes ionosféricas, que aportan una componente del campo magnético terrestre total (CMTT), también se incrementan y por lo tanto el CMTT se ve afectado. Dependiendo del sentido de las corrientes en el lugar bajo estudio, el CMTT se incrementará o decrecerá por un breve período de tiempo (Yamazaki & Maute, 2016) registrándose en los magnetogramas, denominado usualmente “crochet” como se muestra en la figura 6, para el evento analizado.

Figura 6 - Magnetogramas de las estaciones Pilar (PIL), Las Acacias (LAS), Trelew (TRW) e Islas Orcadas (ORC) para el 11/03/2015 e influencia de la fulguración a las 16:22 TU.



2.4 RIOMETROS

Un Riómetro (riometer: Radio Ionospheric Opacity Meter Extra Terrestrial Electromagnetic Radiation) es un receptor de radio, que hace un uso oportuno de señales provenientes del espacio exterior, y cuyas fuentes emiten de manera muy estable en términos de frecuencia y potencia. Dado que existe una mayor cantidad de fuentes en la dirección al centro de la galaxia y a que respecto de este, la tierra realiza un giro sobre si misma cada 23:56 (24 horas sidéreas), se obtiene una curva característica con un máximo cuando el centro de la galaxia alcanza el punto mas proximo a la dirección del haz de la antena, usualmente el cenit. Se analiza entonces la variabilidad de la señal recibida en la superficie terrestre con respecto a una curva de referencia correspondiente a una ionosfera no perturbada, siendo dichas variaciones producto de los fenómenos de absorción desarrollados en la ionosfera, dependientes del estado de ionización de la misma.

Son utilizados principalmente para el estudio de la baja ionósfera, esto es de la capa D, ya que cuando una onda electromagnética atraviesa la esta capa sufre una atenuación, la cual es posible determinar aplicando la formula de Appleton-Hartree (Davies, 1990).

$$A = 4,6 \cdot 10^{-5} \int \frac{N_e v}{v^2 + (\omega \pm \omega_H \cos \theta)^2} dl \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde A es la atenuación en decibeles, N_e es la densidad electrónica, v es la frecuencia de colisión entre electrones y partículas neutras, ω la frecuencia angular de la onda electromagnética, ω_H la frecuencia de giro en la dirección de propagación, el ángulo entre la perpendicular del campo magnético y la dirección de propagación y dl el diferencial de camino recorrido por la onda.

La mejor ventana para observar el ruido cósmico en superficie corresponde al rango entre los 20 y 200 MHz optándose en general por mediciones alrededor de los 30 MHz. Los riómetros empleados en este caso, operan en 38,2 MHz.

Un receptor midiendo dicho ruido y apuntando siempre en la dirección cenital, realizará por la rotación de la tierra, un barrido completo del espacio circundante obteniendo una curva de variación de intensidad en un día sidéreo. En días no perturbados, se registran curvas de absorción mínima, de los cuales estadísticamente se obtiene la Curva de Día Quieto (Quiet Day Curve QDC) (Moro et al., 2012) que es la curva de comparación para determinar cambios en la absorción debido a gradientes de densidad electrónica principalmente en la ionósfera baja.

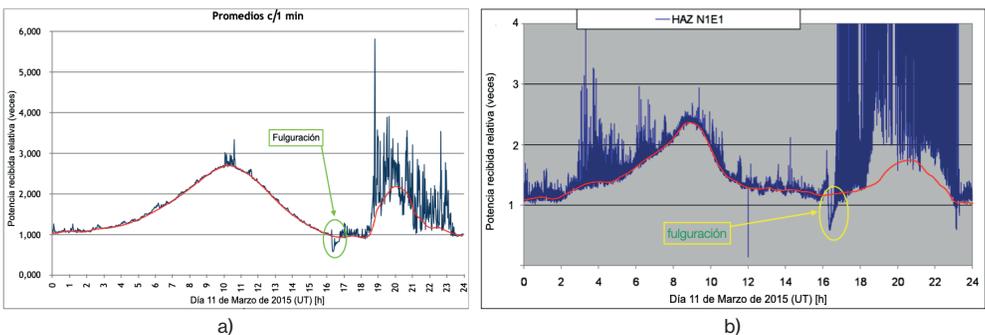
El riómetro en líneas generales trabaja como un radiómetro, midiéndose y registrándose la potencia de ruido cósmico recibida en una determinada frecuencia. Periódicamente se realiza una calibración del sistema conectándolo a una fuente calibrada de ruido.

2.4.1 RIOMETRO CENTAL SIMPLE

Los riómetros simples trabajan con una sola antena o a lo sumo un arreglo reducido de ellas observando siempre un mismo punto del cielo, midiéndose la radiación recibida por el ángulo de recepción de la antena, estudiándose la ionósfera baja interpuesta con el espacio y analizando las anomalías de absorción.

En este trabajo se emplean datos de un riómetro cenital que posee dos antenas dipolo de media longitud de onda en paralelo, lo que permite un haz cenital con ángulo de potencia mitad de 60° . Se muestra el resultado obtenido para el evento bajo estudio en la figuras 7a. Se detalla la amplitud de la señal recibido (en color azul) y el valor de la QDC obtenida mediante el método Tanaka (Moro et al, 2012), empleando los días quietos del mes correspondiente (en color rojo), Se puede observar como, a la hora del evento, disminuye notoriamente la potencia debido al incremento de absorción ionosférica.

Figura 7 - Respuesta del riómetro cenital a) y del haz N1E1 del 2D b) para el día 11/03/2015 y QDC correspondiente.



2.4.2 RIOMETRO DE IMAGEN (2D)

Los riómetros de dos dimensiones están conformados por arreglos de antenas por medio de las cuales es posible realizar el direccionado del haz y de esta forma poder determinar absorción en distintas direcciones del espacio. Con esto se consigue un barrido de distintas secciones del zenit obteniéndose un esquema de absorción en dos dimensiones. En este caso, se trata de un arreglo de 16 elementos de antena, de

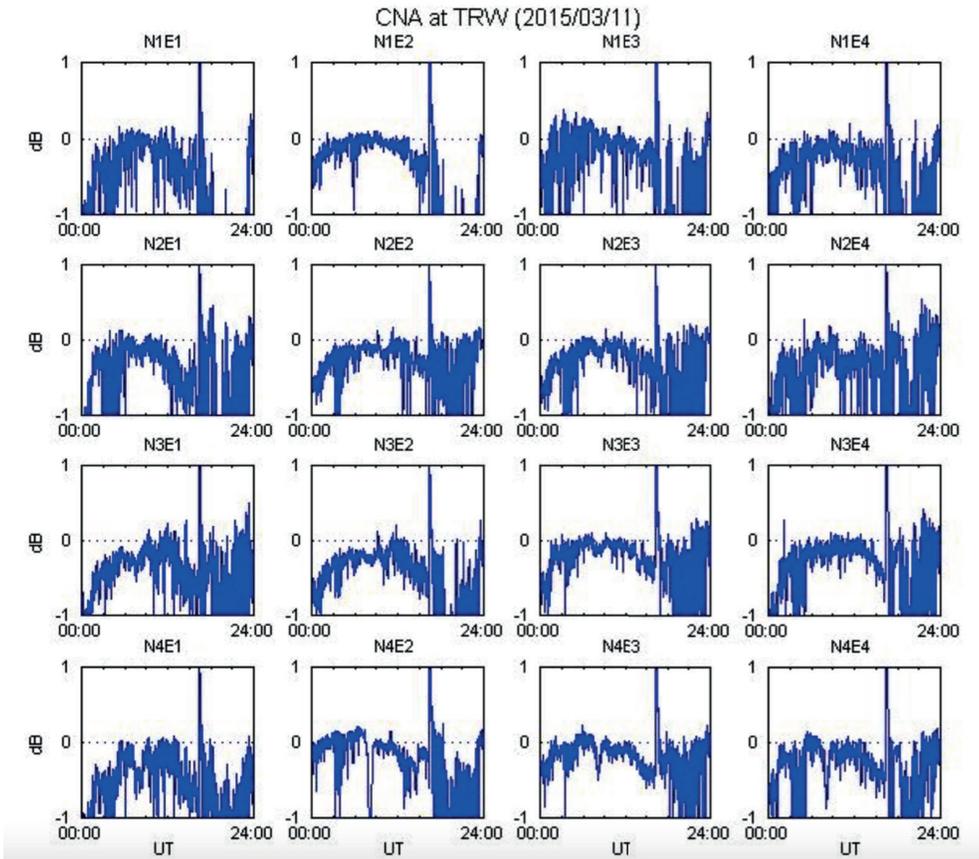
tipo dipolo de media longitud de onda, lo que permita la observación en 16 direcciones diferentes (16 haces) con ángulo de potencia mitad de 22° cada uno y denominados desde N1NE1 a N4E4 con las combinaciones intermedias. Se muestra en la figura 7b la respuesta del haz N1E1, en términos de potencia relativa para el día estudiado, la QDC correspondiente y se remarca la detección realizada del evento bajo estudio, como ya se evaluó para la respuesta del riometro cenital.

La figura 8 muestra el resultado en términos de la atenuación dada por la ecuación 2, aunque calculada mediante la relación entre las tensiones rms entre el dato del evento y el de la QDC y expresada en forma logarítmica, en dB obtenida para los 16 haces para el día 11 de marzo del 2015, quedando claramente determinado el instante en el cuál se produce la atenuación ionosférica de las ondas de radio, coincidente con la ocurrencia de la fulguración solar.

3 CONCLUSIONES

Se puede concluir entonces, en base a lo previamente expuesto, que dada la importancia que cobra para la sociedad actual, la climatología espacial, por los riesgos que conllevan, tanto para la tecnología como para las personas los eventos solares de gran magnitud, disponer de herramientas de bajo costo desplegadas en el territorio permitiría una mejor caracterización de estos eventos y de su influencia en cada región. Estas herramientas a su vez podrían servir, analizadas en conjunto y en tiempo real como un alerta climatologico propio de eventos de space weather severos.

Figura 8 - Atenuación registrada por el riometro 2D para el día 11/03/2015, destacándose el pico registrado a las 16:22 para las 16 direcciones de apuntamiento.



Se encuentra en proceso, la tarea de realizar un análisis exhaustivo con el objeto de caracterizar y correlacionar las amplitudes de los registros obtenidos por este instrumental, con la magnitud de los eventos de climatología espacial para obtener una mejor caracterización.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Banks, P.M., Kockarts, G. (1973). *Aeronomy*. Science Direct, Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2013-0-10328-5>

Davies, K. (1990). *Ionospheric Radio*. Barnes & Noble. ISBN-10:086341186X, ISBN-13:9780863411861

Hargreaves, J. K. (1992). *The Solar-Terrestrial Environment: An Introduction to Geospace - the Science of the Terrestrial Upper Atmosphere, Ionosphere, and Magnetosphere*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511628924>

Hunsucker, R. D., & Hargreaves, J. K. (2003). *The high-latitude ionosphere and its effects on radio propagation*. Cambridge University Press.

Moro, J., Denardini, C. M., Correia, E., Abdu, M. A., Schuch, N. J., & Makita, K. (2012). A comparison of two different techniques for deriving the quiet day curve from SARINET riometer data. *Annales Geophysicae*, 30(8), 1159–1168. <https://doi.org/10.5194/angeo-30-1159-2012>

Yamazaki, Y., & Maute, A. (2017). Sq and EEJ – A Review on the Daily Variation of the Geomagnetic Field Caused by Ionospheric Dynamo Currents. *Space Science Reviews*, 206(1), 299–405. <https://doi.org/10.1007/s11214-016-0282-z>

SOBRE O ORGANIZADOR

Alireza Mohebi Ashtiani possui graduação em bacharelado em Matemática, Matemática Aplicada, pela Amirkabir University of Technology (Polytechnic of Tehran), Teerã/Irã (2003), mestrado em Matemática Aplicada pelo Institute for Advanced Studies in Basic Sciences (IASBS), Zanjan/Irã (2005) e doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) na área de Automação (2012). Foi bolsista de Pós-doutorado Júnior do CNPq no Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica (IMECC/UNICAMP) e bolsista de Pós-doutorado da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) na Faculdade de Ciências Aplicadas da Universidade Estadual de Campinas (FCA/UNICAMP). Desde 2013 é docente vinculado ao Departamento Acadêmico de Matemática do Campus Londrina da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), e atualmente, docente permanente do Programa de Pós-Graduação em Matemática em Rede Nacional (PROFMAT) da UTFPR, Campus Cornélio Procopio.

Alireza Mohebi Ashtiani

<http://lattes.cnpq.br/5025709771742662>

ÍNDICE REMISSIVO

A

Agricultural land consolidation 56, 57, 58, 59, 61, 62, 63

B

Boundary conditions 64, 65, 69, 70, 72, 74, 80, 81

C

Climatología 100, 102, 109, 110

Convolución 85, 86, 89, 92, 94, 98

D

Danos 15, 16, 27

Deslizamentos 15, 16, 18, 19, 20, 21, 24

Difracción 85, 86, 87, 89, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99

E

Effective diffusivity 65, 66, 67, 69, 79, 82

Espacial 33, 39, 87, 88, 100, 102, 109, 110

F

Feições erosivas 1, 2, 7, 9, 10, 12, 13

Fresnel convergente y divergente 85, 86, 87, 91, 93, 94, 96

Fulguración 100, 102, 104, 106, 109

G

Geotecnia 13, 15, 26

H

Hollow spherical foods 65, 81

I

Inundação urbana 27, 38, 39

Ionosonda 100, 104

L

Land market 56, 57, 60, 61, 62

M

Magnetómetro 100

Mass diffusion 65

Mathematical model 64, 65, 66, 81, 86

Metodologia 7, 17, 27, 31, 36, 37, 50, 65

Movimentos de massa 1, 10, 11, 12, 15, 16, 18, 20, 23, 24

P

Paleocanais 47, 48, 50, 51, 52, 53, 54

Q

Quaternário 47, 48, 50, 52, 53, 54

R

Rent regulation 56

Republic of Kalmykia 56, 61, 63

Riometro 100, 107, 108, 109, 110

Risco 5, 7, 20, 26, 27, 28, 30, 33, 36, 38, 39, 40, 41, 42, 45

Riscos geológicos 15

Russia 56, 57, 58, 59, 62, 63

S

Simulación computacional 85, 86, 95, 96

Sísmica de alta resolução 47

Sol 100

U

Uso e ocupação do solo 1, 10, 11, 36

V

Variações Eustáticas 47, 48, 49, 52, 53, 54