



MINISTÉRIO DA  
CIÊNCIA, TECNOLOGIA  
E INOVAÇÕES



**ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DO CÉU NOTURNO PARA  
OBSERVAÇÃO DE LUMINESCÊNCIA ATMOSFÉRICA NO  
OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL (OES/INPE) E  
CARACTERIZAÇÃO DAS ONDAS DE GRAVIDADE DE  
PEQUENA ESCALA.**

Andressa Gularte Flores Machado Paines

Relatório final bolsa de iniciação  
científica, orientada pelo Dr. José  
Valentin Bageston.

INPE  
Santa Maria - RS  
2023

## RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo teórico sobre a atmosfera terrestre e o fenômeno de luminescência atmosférica, conhecido como airglow, com o objetivo de analisar as ondas de gravidade de pequena escala observadas sobre o Observatório Espacial de São Martinho da Serra-RS no período de 2017 a 2018. O estudo começa com uma revisão teórica sobre a atmosfera terrestre, abordando sua estrutura, composição química e processos físicos envolvidos. Em seguida, é realizada uma revisão bibliográfica específica sobre as ondas de gravidade, perturbações causadas pela ação da gravidade na atmosfera, estudando seus mecanismos de geração, propagação e técnicas de detecção e análise, bem como a relação com o airglow. Para a realização da análise das imagens de luminescência atmosférica, foi necessário o conhecimento em programação na linguagem IDL, utilizando-a para linearizar e analisar as imagens obtidas no Observatório Espacial. Neste estudo, será exposta uma análise teórica do assunto em questão, juntamente de exemplificações dos dados colhidos, a descrição da abordagem de análise, que engloba a etapa de linearização das imagens, e demonstrações dos resultados alcançados. Além disso, o estudo contribui para o desenvolvimento de técnicas de análise de imagens de luminescência atmosférica usando programação em IDL, que podem ser aplicadas em futuras pesquisas sobre o tema.

Palavras-chave: Aeronomia. Luminescência atmosférica. Ondas de gravidade.

## **ABSTRACT**

This work presents a theoretical study on the Earth's atmosphere and the phenomenon of atmospheric luminescence, known as airglow, with the objective of analyzing the small-scale gravity waves observed over the Space Observatory of São Martinho da Serra-RS in the period from 2017 to 2018. The study begins with a theoretical review of the Earth's atmosphere, addressing its structure, chemical composition and physical processes involved. Then, a specific literature review is carried out on gravity waves, disturbances caused by the action of gravity in the atmosphere, studying their generation mechanisms, propagation and detection and analysis techniques, as well as the relationship with airglow. In order to carry out the analysis of the atmospheric luminescence images, it was necessary to have knowledge in programming in the IDL language, using it to linearize and analyze the images obtained in the Space Observatory. In this study, a theoretical analysis of the subject in question will be exposed, together with examples of the collected data, the description of the analysis approach, which includes the step of linearization of the images, and demonstrations of the results achieved. In addition, the study contributes to the development of techniques for analyzing atmospheric luminescence images using IDL programming, which can be applied in future research on the subject.

**Keywords:** Aeronomy. Atmospheric luminescence. Gravity waves.

## SUMÁRIO

	<b><u>Pág.</u></b>
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 Ondas de Gravidade na Ionosfera.....	2
3 OH, Bandas de Meinel e A Luminescência Atmosférica.....	3
4 SÍTIO DE OBSERVAÇÃO E INSTRUMENTAÇÃO.....	4
5 CONCLUSÃO.....	8

# 1 INTRODUÇÃO

Este trabalho se dedica a uma exploração das distintas camadas da atmosfera terrestre e suas implicações nas diversas áreas de pesquisa científica. O enfoque específico deste projeto recai sobre a mesosfera e a ionosfera da Terra, duas regiões que apresentam características e aplicações significativas em campos científicos e tecnológicos.

A mesosfera, situada entre a termosfera e a estratosfera, começa a cerca de 80 km acima do nível do mar e se estende por aproximadamente 35 km. Reconhecida como a camada mais fria da atmosfera, com temperaturas médias oscilando entre  $-10$  e  $-100^{\circ}\text{C}$ , a mesosfera se destaca por sua inacessibilidade e desafio de exploração. A altitude baixa dessa região impede que balões meteorológicos e aeronaves alcancem-na, enquanto a presença de ar rarefeito impossibilita a órbita de satélites. Devido à sua baixa densidade, essa região permite uma maior exposição à radiação solar, o que a torna de particular interesse para a pesquisa científica.

Por sua vez, a ionosfera, que compreende parte da porção superior da mesosfera, representa um domínio de alta energia e diversidade de propriedades. Abarcando uma faixa de altitudes entre 100 e 1000 km, aproximadamente, essa região é caracterizada pela baixa densidade de gases, permitindo a extrema incidência de radiação. Como resultado, ocorre a ionização dos átomos, resultando na formação de uma camada de elétrons. Essa ionização, por sua vez, viabiliza o funcionamento de tecnologias como o GPS e a propagação de ondas de rádio.

No entanto, a ionosfera não se apresenta como uma camada estática. Pelo contrário, sua forma e características variam substancialmente devido à intensa exposição à radiação. Essa variabilidade energética pode resultar em contrações ou expansões de determinadas áreas da ionosfera. Essa dinamicidade impede a obtenção de dados concretos sobre a espessura dessa camada.

A análise das imagens de luminescência atmosférica, essencial para essa investigação, demandou a aplicação de conhecimentos em programação na linguagem IDL, e não foi possível ser efetuada devido problemas encontrados na aplicação metodológica. Portanto seu conteúdo se atem no enfoque da construção de conhecimento teórico.

## **2 ONDAS DE GRAVIDADE NA IONOSFERA**

Neste segmento, aprofundaremos nossa análise nas interações energéticas que ocorrem na ionosfera terrestre, destacando particularmente a notável discrepância de certos fenômenos dentro deste ambiente altamente energético.

Na busca por compreender os intrincados processos que ocorrem na ionosfera terrestre, deparamo-nos com fenômenos notáveis, sendo um deles a propagação das denominadas ondas de gravidade. Importa destacar que estas ondas não devem ser confundidas com as ondas gravitacionais, visto que seus mecanismos e características apresentam distinções fundamentais.

As ondas de gravidade, em contraste com as ondas gravitacionais que surgem de eventos cósmicos impactantes, como a colisão de corpos celestes massivos, são fenômenos de natureza mais simples e tangível. Tais ondas emergem da interação entre as forças de empuxo e a gravidade em um meio fluido, podendo se manifestar tanto em líquidos como em gases. Sua observação está intrinsecamente ligada à estabilidade do meio em que se propagam. É importante ressaltar que o termo "ondas de gravidade" é empregado devido à equação que as descreve, não devendo ser confundido com as ondas gravitacionais.

Para uma compreensão mais precisa, é apropriado referir-se a essas ondas como "ondas de flutuabilidade" ou, em termos técnicos, "Bouancy Waves". A propagação dessas ondas através de um meio material é regida pelo princípio de conservação de energia e pelos princípios da dinâmica dos fluidos. A sua disseminação está sujeita à estabilidade do meio e à variação das densidades nas diferentes regiões afetadas pelas ondas.

No cerne da explicação das ondas de fluatibilidade está a equação que as caracteriza, onde a aceleração gravitacional desempenha um papel preponderante no cálculo da força resultante que age sobre uma porção específica de um fluido, como o ar. Essa abordagem baseada na aceleração gravitacional é determinante para a compreensão dessas ondas de gravidade que permeiam a ionosfera terrestre

### **3 OH, BANDAS DE MEINEL E A LUMINESCÊNCIA ATMOSFÉRICA**

No âmbito das camadas energéticas da atmosfera, destaca-se outro fenômeno passível de observação: a aeroluminescência, também conhecida como Air Glow. Esse fenômeno se manifesta por meio da luminosidade no céu noturno e sua identificação requer a consideração de certas condições específicas. A observação do Air Glow torna-se viável mediante a ausência da luz lunar no céu noturno e a utilização de exposições prolongadas. Essas circunstâncias são indispensáveis, uma vez que a intensidade do brilho é sutil, apesar de estar presente em toda a extensão do planeta.

É importante não confundir a luminescência atmosférica com as auroras polares, fenômenos distintos em termos de frequência e localização. As auroras polares são visíveis exclusivamente nas regiões polares, resultam da interação entre ventos solares energéticos e nosso campo magnético, e sua luminosidade é notória a olho nu. Diferentemente, a aeroluminescência é um evento global, apresenta um brilho mais discreto e é resultado da emissão de fótons por átomos excitados presentes na ionosfera. Esses fótons, que abrangem um espectro de emissão que vai do ultravioleta ao infravermelho, constituem linhas de emissão.

O estudo da aeroluminescência teve início em 1909, e somente em 1930, por Rayleigh, foi distinguida das auroras polares. A sua manifestação decorre da emissão de fótons por átomos excitados localizados na ionosfera. A ênfase deste trabalho recai nas linhas de emissão da hidroxila, que desempenham um papel crucial nesse fenômeno.

A análise espectral do airglow é conduzida por meio da investigação de diversas partículas que são abundantes na atmosfera. Entre essas, algumas linhas espectrais revestem-se de particular importância, tais como as linhas de emissão do oxigênio atômico, o duplete de sódio e o radical hidroxila (OH), também denominadas Bandas de Meinel. A faixa de comprimento de onda dessas emissões tende a se situar no espectro do infravermelho, abrangendo valores entre 6600 e 9000 Å (unidades de comprimento de onda).

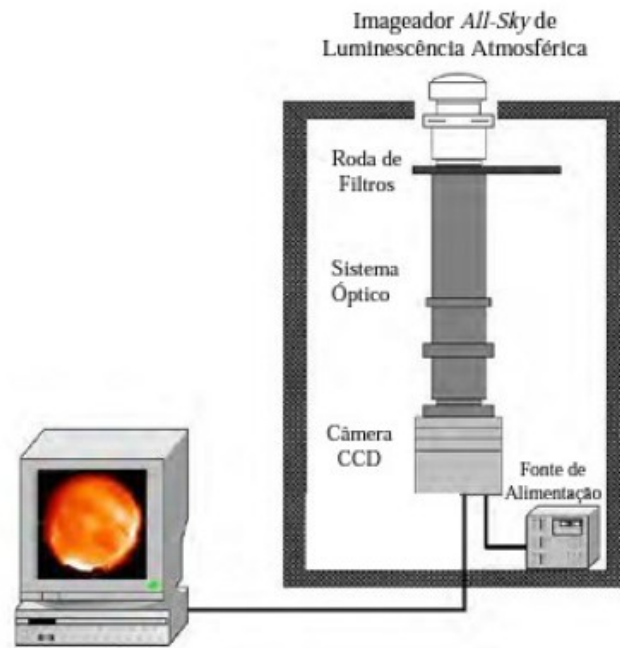
As emissões provenientes da hidroxila desempenham um papel crucial na pesquisa e observação da propagação de ondas de gravidade e marés na alta atmosfera. Essas ondas exibem uma orientação vertical transversal e pequenas oscilações, em períodos que variam de 5 minutos a 12 horas. A análise detalhada dessas linhas espectrais possibilita insights valiosos sobre os processos ocorrentes nas camadas superiores da atmosfera terrestre.

#### **4 SÍTIO DE OBSERVAÇÃO E INSTRUMENTAÇÃO**

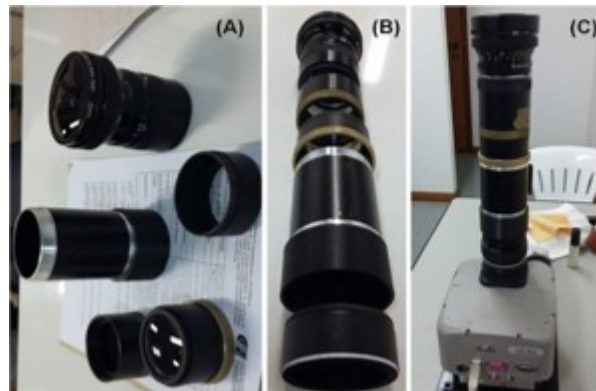
No decorrer desta investigação, foram empregados dados provenientes do Observatório Espacial do Sul (OES), localizado na região de São Martinho da Serra, no estado do Rio Grande do Sul. Esse centro de observação abriga um instrumento de baixo custo conhecido como imageador AllSky, que desempenha um papel fundamental na coleta de informações.

O imageador AllSky foi empregado com a finalidade de detectar a luminescência atmosférica no contexto do céu noturno. Este dispositivo é equipado com uma lente de configuração "olho de peixe", uma roda de filtros projetados para a luminescência, um sistema óptico telecêntrico e uma lente objetiva com capacidade de ajuste focal, a qual se encontra interligada a uma câmera CCD, como exemplificam as figuras 1, 2 e 3:





**Figura 1:** Esquema de um imageador utilizado para medir as emissões da luminescência atmosférica noturna.  
Fonte: Adaptado de Wrasse (2004).



**Figura 2:** Câmera e lentes do imageador AllSky.



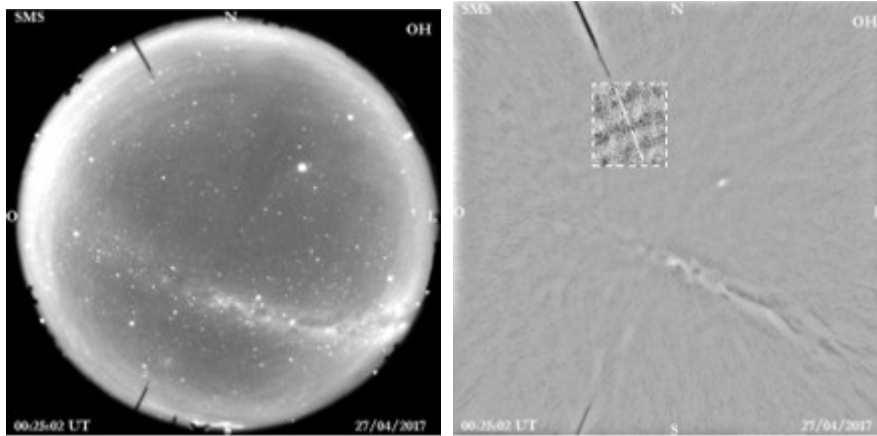
**Figura 3:** Câmera do AllSky no OES em São Martinho da Serra.

A aquisição das imagens serve como ponto de partida para o subsequente processo de processamento de dados. No contexto deste projeto, os dados resultantes desse processo são obtidos mediante a aplicação de rotinas incorporadas no software desenvolvido em Interactive Data Language (IDL) (Figura 4). Este software, baseado em IDL, emprega a transformada de Fourier com o intuito de realizar a linearização das imagens de airglow coletadas pelo imageador AllSky.

```
-----  
; Modified by: C. M. Wrasse (LUNE/INPE), Feb, 2005  
;-----  
  
pro read_image, fname, img_orig, x_size, y_size, data, hora, exposer, temp_CCD  
  
    if N_params() lt 1 then begin  
        print, 'Incorrect number of arguments'  
        print, 'Enter the correct number of arguments:'  
        print, 'fname'  
        return  
    end  
  
    FITS_READ, fname, image, header  
  
    xysize = sxpar(header, 'NAXIS*')  
  
    data=sxpar(header, 'DATE-OBS')  
    hora=sxpar(header, 'TIME-OBS')  
    exposer=sxpar(header, 'EXPOSURE')  
    temp_CCD=sxpar(header, 'TEMPERAT')  
    x_size=xysize(0)  
    y_size=xysize(1)  
    img_orig =uintarr(x_size,y_size)  
    img_orig=image  
  
end
```

**Figura 4:** Exemplo de rotina em IDL utilizada para leitura das imagens oriundas do imageador.

A utilização de ferramentas de processamento de dados como o IDL desempenha um papel fundamental nessa etapa da pesquisa, permitindo a transformação das imagens capturadas em dados mais precisos e analisáveis. O processamento é realizado de maneira sistemática, empregando algoritmos específicos que garantem a coerência e a fidelidade dos resultados obtidos a partir das imagens iniciais.



**Figura 5 e 6:** Exemplo de onda de gravidade registrada pelo AllSky no OES em São Martinho da Serra e exemplo de seleção, respectivamente.

Esse processo não somente contribui para a compreensão mais profunda dos fenômenos observados, mas também demonstra a importância da integração entre tecnologia de observação e análise avançada de dados. A combinação de equipamentos como o imageador AllSky e métodos como a transformada de Fourier empregados no IDL representa uma abordagem sinérgica e eficaz para a investigação das características da luminescência atmosférica, possibilitando a obtenção de informações valiosas para a compreensão dos processos que ocorrem em nossa atmosfera terrestre.

## 5 CONCLUSÃO

Ao explorarmos o embasamento teórico necessário para esta pesquisa, foi possível ampliar nossa compreensão dos fenômenos de luminescência atmosférica e das ondas de gravidade. Além disso, a imersão no ambiente de programação em IDL enriqueceu nosso aprendizado, conferindo uma abordagem mais sólida e abrangente aos tópicos abordados ao longo do desenvolvimento do trabalho.

Destacou-se a capacidade de distinguir esses fenômenos e suas contrapartes que possuem nomenclaturas ou algumas características semelhantes. Ainda que possam compartilhar alguns atributos, sua origem e natureza física diferem de maneira substancial. Esse discernimento se mostrou crucial para a compreensão precisa e detalhada das interações atmosféricas exploradas.

A construção desse conhecimento demandou a revisão de diversos recursos, como artigos virtuais, dissertações e obras literárias, que abordam a intrincada complexidade da atmosfera terrestre e os eventos observáveis em seu seio. A exploração desses materiais proveu as bases necessárias para o entendimento dos fenômenos em questão, contextualizando-os dentro das complexas dinâmicas atmosféricas.

Uma projeção futura desse trabalho sugere um aprofundamento nas questões físicas e matemáticas subjacentes à dinâmica dos fluidos e à teoria das ondas. A compreensão aprofundada desses conceitos emergirá como um fator determinante para a apreensão mais completa do conteúdo estudado. O domínio das bases físicas e matemáticas que sustentam os fenômenos observados abrirá portas para insights mais profundos e uma exploração mais sofisticada dos dados e resultados obtidos ao longo deste trabalho.

Em síntese, o alicerce teórico construído se mostrou fundamental para conduzir esta pesquisa. A revisão criteriosa da literatura e a exploração das interações físicas subjacentes forneceram um quadro sólido para o desenvolvimento das análises e conclusões que compõem esta investigação

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SHUNK, R.W., NAGY, A. F. **IONOSPHERES: Physics, Plasma Physics and Chemistry**. 1º Edição. Cambridge, United Kingdom: Press syndicate of the University of Cambridge, 2000;

SOBRAL, J. H. A. **EXPERIMENTOS IONOSFÉRICOS E DA ALTA ATMOSFERA UTILIZANDO FOGUETES**. 1º Edição. São José dos Campos, São Paulo: Editora gráfica Carimbex, 1997;

BAGESTON, José. **Determinação da temperatura da mesosfera superior utilizando um espectro-imageador**. São Paulo: São José dos Campos, 2006;

GIONGO, Gabriel. **Estudo da propagação vertical das ondas de gravidade de pequena escala observadas na estação antártica Comandante Ferraz nos anos de 2015 a 2017**. Rio Grande do Sul: Santa Maria, 2020;

MACHADO, Cristiano. **Estudo da variabilidade da aeroluminescência noturna na alta atmosfera terrestre**. Rio Grande do Sul: Santa Maria, 2008;

NYASSOR,P.K.. **Case Studies on Concentric Gravity Waves Source using Lightning FlashRate, Brightness Temperature and Backward Ray Tracing at São Martinho da Serra(29.44S, 53.82W)**, manuscript submitted to JGR: Atmospheres, 2021;