

Análise espectral da composição química do meteoro incidente no dia 02/01/2023

Matheus Agenor e Rodolfo Langhi

Universidade Estadual Paulista

Resumo

No Brasil, existe uma carência de pesquisa relacionada a espectroscopia de meteoros, por este motivo o trabalho desenvolvido pode ser considerado pioneiro. Para esta pesquisa, foi instalada uma estação de monitoramento em vídeo de meteoros, como as usadas pela BRAMON no âmbito do projeto PATRICIA, com uma rede de difração acoplada à câmera, de modo que a captura de um meteoro possa revelar o espectro do seu rastro. Para a captura foi usada uma câmera de vigilância Samsung modelo SCB 2000 e uma rede de difração de 500 linhas/mm. No dia 02 de janeiro de 2023, às 6:53 (UTC), a câmera vinculada ao presente Projeto fez a captura de um meteoro relativamente brilhante. Por meio desta captura, e com o auxílio do software RSpec, foi possível fazer uma análise do espectro emitido pela ablação do meteoro, e estudando os picos de intensidade, foi possível descobrir a composição química do meteoro. Observamos a presença de Ferro, Cromo, Cálcio, Níquel, Magnésio, Nitrogênio e Oxigênio, todos em suas formas neutras, exceto pelo Nitrogênio, proveniente dos gases atmosféricos, que foi encontrado em sua forma ionizada.

Abstract

In Brazil, we do not have many researchers working in meteor spectroscopy, which is why the work developed can be considered pioneering. For this research, a video meteor monitoring station was installed, similar to those used by the BRAMON within the PATRICIA project, with a diffraction grating attached to the camera, allowing the capture of a meteor to reveal its spectrum. A Samsung surveillance camera model SCB 2000 and a 500 lines/mm diffraction grating were used for the capture. On January 2, 2023, at 6:53 (UTC), the camera linked to the present project captured a relatively bright meteor. Through this capture, and with the aid of the RSpec software, it was possible to analyze the spectrum emitted by the meteor's ablation, and by studying the intensity peaks, it was possible to determine the chemical composition of the meteor. We observed the presence of Iron, Chromium, Calcium, Nickel, Magnesium, Nitrogen, and Oxygen, all in their neutral forms, except for Nitrogen, which was found in its ionized form.

Palavras-chave: espectroscopia de meteoros, espectro, composição química.

Keywords: meteor spectroscopy, spectrum, chemical composition.

DOI: [10.47456/Cad.Astro.v4n2.41689](https://doi.org/10.47456/Cad.Astro.v4n2.41689)

1 Introdução

A observação de espectros de meteoros teve seu início com Alexander Herschel no final do século XIX. Junto com alguns companheiros, Herschel registrou o espectro de 300 a 400 meteoros no período entre 1866 e 1880. Herschel também identificou corretamente as linhas D do Sódio e o trio verde do Magnésio. Entre 1897 e 1940, aproximadamente 60 espectros de meteoros foram fotografados, permitindo a identificação de 9 átomos neutros e 4 átomos ionizados [1]. O trabalho mais notável é o de Harvey (1973), que apresentou um

estudo de inspeção visual de 500 espectros fotográficos de meteoros na faixa de magnitude +1 a -3. A maioria dos espectros continha as linhas de emissão de Fe, Mg, Na e Ca em proporções semelhantes e menos de 10% eram espectros não representativos, sugerindo composição química diferente.

Nos últimos anos, houve um avanço significativo na tecnologia de câmeras e técnicas de captura, o que resultou em um aumento substancial no banco de dados de espectros de meteoros. Atualmente, temos disponíveis registros de vários milhares de meteoros, graças à facilidade de obten-

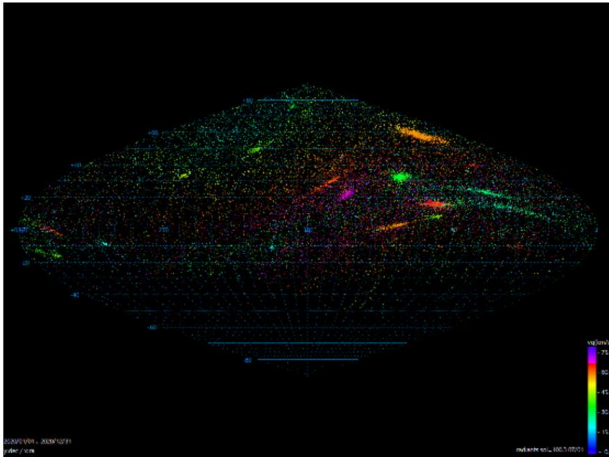


Figura 1: Mapa de radiantes identificados até 2020. Créditos: [SonotaCo Network Simultaneously Observed Meteor Data Sets](#), acesso em jul. 2023.

ção e tratamento desses dados. Esses avanços têm permitido a identificação de aproximadamente 20 átomos neutros, 9 átomos ionizados singulares e 6 moléculas diatômicas presentes nos espectros dos meteoros [1].

Embora os espectros de meteoros sejam observados desde o século XIX, poucas pesquisas nesta área foram publicadas no hemisfério sul. Isso pode ser atribuído, em parte, à falta de engajamento e participação dos pesquisadores do hemisfério sul no monitoramento de meteoros, em comparação com os países do hemisfério norte.

No Brasil, o trabalho mais notável é o da BRAMON (*Brazilian Meteor Observation Network*) e o da EXOSS (do inglês *Exoss Citizen Science*). Em contrapartida, no hemisfério norte temos muitas organizações responsáveis por fazer esse tipo de monitoramento, as quais podemos citar por exemplo a AMS (*American Meteor Society*), EDMOND (*European Video Meteor Network Database*), UKMON (*United Kingdom Meteor Network*) e a CAMS (*Cameras for All-Sky Meteor Surveillance*) [2].

Na Figura 1, apresentada acima, pode-se observar a distribuição dos radiantes noturnos das chuvas de meteoros ao longo do ano. Cada um dos pontos representa um radiante, que é o ponto no céu de onde os meteoros parecem se originar durante uma chuva de meteoros. As cores utilizadas nos pontos indicam as velocidades dos meteoros, com os mais rápidos representados em tons de vermelho, roxo e azul, e os mais lentos em tons

de amarelo e verde.

Ao analisar o mapa, é possível observar uma característica interessante: à medida que se aproxima do polo sul, há uma diminuição significativa na quantidade de radiantes indicados. Isso ocorre devido à falta de coleta de dados nessa região da esfera celeste, o que resulta em uma menor densidade de radiantes no hemisfério sul em comparação com o hemisfério norte.

Essa discrepância é um desafio enfrentado pelos estudos de meteoros, uma vez que não havendo muitos estudos, não há referencial teórico, o que representa uma necessidade significativa para a realização de estudos mais abrangentes e aprofundados nesta região. Ao expandir as capacidades de monitoramento e observação no hemisfério sul, poderíamos obter informações mais completas sobre as chuvas de meteoros, seus radiantes e suas características, contribuindo para o mapeamento e catalogação de tal evento, assim como das quedas esporádicas de meteoros.

Na madrugada do dia 02 de janeiro de 2023, a câmera uODA2, vinculada ao projeto PATRICIA (PATRulhamento Investigativo do Céu por Imageamento Automático de meteoros), capturou um meteoro de brilho relativamente intenso. O evento foi registrado em Bauru-SP, às 06:53 UTC (do inglês *Coordinated Universal Time*) por uma das câmeras do Observatório Astronômico da Universidade Estadual Paulista. O meteoro foi capturado nas coordenadas 162, 63°Az (azimute) e 36,5 °Ev (elevação). No *frame* de maior brilho, o fenômeno luminoso atingiu uma $mag_{ap} \approx -1,26$.

Assim, o evento registrado deu início a nossa pesquisa em meteorítica, uma das poucas buscando estudar estes fenômenos no hemisfério sul e no Brasil.

2 Fundamentação

Uma grande quantidade de meteoroides é atraída pela força gravitacional terrestre, aproximadamente 25 milhões por dia, e produzem um traço luminoso quando entram em nossa atmosfera que chamamos de meteoro [3]. Os meteoros são fenômenos que acontecem na atmosfera superior, entre 75 km e 120 km de altitude, e seu brilho está relacionado, principalmente,

com o aquecimento do meteoróide [4], caracterizando, portanto, a aeroluminescência. Ao entrar na atmosfera com velocidades entre 11,2 km/s e 72,8 km/s, o meteoróide começa a interagir com as moléculas de ar que oferecem a ele uma resistência em sua passagem. Devido a isto, o meteoróide aquece e começa o processo de ablação, um processo no qual o corpo, agora chamado de meteoróide, passa a perder massa por conta do atrito com as partículas da atmosfera, liberando fragmentos sólidos e, as vezes, gás quente contendo átomos excitados e ionizados. Dessa forma, a luminosidade proveniente do aquecimento do corpo celeste juntamente com os gases atmosféricos, produz o que chamamos de estrela cadente, sendo esta uma trilha de plasma [5,6].

Em alguns casos, o corpo resiste à passagem atmosférica, seja por conta do tamanho ou da massa, chegando à superfície terrestre, sendo agora chamado de meteorito. Na maioria das vezes, são fragmentos de pequenos corpos planetários como asteroides ou cometas, podendo ser também fragmentos de Marte ou da Lua.

Esses pedaços de rocha espacial são uma importante fonte de material para pesquisa e contribuem com a compreensão de como o sistema solar se formou e evoluiu [7]. Alguns destes corpos podem ter órbitas que cruzam a da Terra ou não, no entanto, estudos em dinâmica orbital e campanhas de observação sugerem que a maioria dos meteoritos têm corpos de origem no cinturão de asteroides e não entre os asteroides próximos da Terra ou cometas [8]. No processo de entrada na atmosfera, não sobra muito material para ser estudado, uma vez que a quantidade de meteoritos é muito inferior à quantidade de meteoros. Contudo, ainda há informações que podem ser retiradas do rastro luminoso por meio da análise do espectro da luz emitida por estes corpos durante a entrada na atmosfera, pois podemos separar as componentes elementares que emitiram a luz observada, e assim, pode-se inferir a composição química do meteoro [9].

As classes de rochas espaciais são divididas em três grandes categorias principais com base em suas características e composição, sendo eles os rochosos, metálicos e os metálico-rochosos. Os rochosos ainda são subdivididos nas categorias condritos e acondritos, sendo estes últimos diferenciados quimicamente, como Marte e a Lua. [3].

Os condritos compreendem 85 – 90% de todos os meteoritos encontrados na Terra, sendo eles compostos, principalmente, de minerais silicáticos contendo pequenas quantidades de grãos metálicos de ferro-níquel. Essa classe de meteoritos ainda se mostra extremamente importante, uma vez que fornecem informações importantes sobre a composição química e a evolução do nosso sistema planetário. Os acondritos são menos comuns do que os condritos, representando cerca de 8% dos meteoritos encontrados, sendo geralmente ricos em minerais como piroxênio e plagioclásio. Já os metálicos são compostos principalmente de ferro e níquel, com pequenas quantidades de outros elementos, representando cerca de 5-7% dos meteoritos encontrados [3,10,11].

Em relação às partículas de poeira interplanetária, elas podem ser estudadas *in situ* por detectores de poeira de espaçonaves ou coleta de material na estratosfera. No entanto, a única maneira de estudar meteoróides individuais de dimensões milimétricas a centimétricas é observando sua interação com a atmosfera terrestre [12]. O estudo da espectroscopia de meteoros pode ser usado como uma ferramenta poderosa para comparar as abundâncias químicas entre correntes de meteoros e seus corpos parentais, usando a análise do espectro de luz de meteoros para deduzir as abundâncias químicas elementares em meteoróides [13].

Atualmente, usamos redes de difração para dispersar a luz de modo mais eficiente e mais simples do que o método anteriormente empregado. Na década de 50, boas redes de difração ficaram disponíveis substituindo em boa parte os prismas objetivos como unidades dispersoras para os estudos em espectroscopia, incluindo a espectroscopia de meteoros [14].

3 Objetivos

Nosso projeto tem como principal objetivo a aplicação da técnica de espectroscopia por rede de difração para a análise detalhada do espectro luminoso de meteoros incidentes no hemisfério sul. Essa técnica nos permite investigar a composição química desses corpos celestes e contribuir para o conhecimento científico em uma área que ainda carece de estudos abrangentes.

Ao concentrar nossos estudos nos meteoros incidentes no hemisfério sul, buscamos preencher uma lacuna na pesquisa científica. Embora haja um número significativo de estudos sobre meteoros em geral, a maioria se concentra no hemisfério norte, onde a atividade meteorítica é bem documentada. No entanto, os meteoros que cruzam os céus do hemisfério sul são igualmente relevantes e oferecem uma oportunidade única de explorar novas informações sobre a composição química desses objetos e contribuir para o mapeamento da diversidade química desses corpos.

Essas informações são cruciais para a investigação de questões fundamentais, como a formação do sistema solar, a história da evolução do universo e a possibilidade de impactos astronômicos na Terra. Além disso, a nossa pesquisa também pode ter aplicações práticas, como o desenvolvimento de métodos de detecção e monitoramento de meteoros, contribuindo para a segurança espacial e o estudo de eventos que possam representar riscos potenciais.

No presente artigo, buscamos estudar e analisar o espectro da luz emitida pelo corpo cadente capturado no dia 02 de janeiro de 2023.

4 Metodologia

Para esta pesquisa, implementamos uma estação de monitoramento em vídeo de meteoros, utilizando uma abordagem semelhante à adotada pela BRAMON no âmbito do projeto PATRICIA.

Nossa estação de monitoramento é parte integrante da rede nacional da BRAMON e conta com uma câmera de vigilância Samsung modelo SCB 2000, uma rede de difração de 500 linhas/mm acoplada à câmera e uma CPU que mantém o sistema ativo e controla a câmera. Essa configuração nos permite registrar a captura de um meteoro e, ao mesmo tempo, revelar o espectro do seu rastro luminoso. A escolha específica da rede de difração foi determinada levando em consideração a limitação de abertura da câmera utilizada. Optamos por uma rede com um número de ranhuras adequado para que o efeito de difração pudesse ser corretamente capturado pela câmera. A Figura 2 apresenta a montagem dessa estação de monitoramento, ilustrando os componentes utilizados e a disposição do equipamento

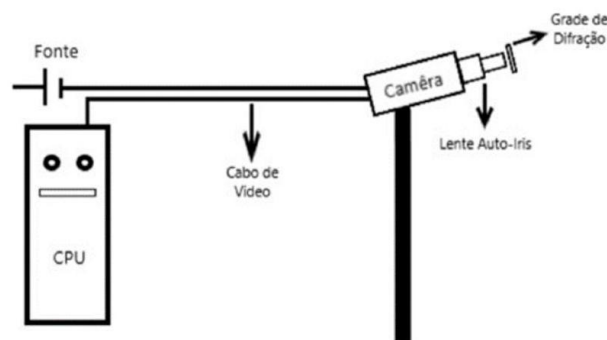


Figura 2: Montagem do equipamento de captura. Créditos: autores (2023).

de captura.

A lente usada na câmera é uma lente auto-iris, tipo de lente que regula automaticamente sua abertura, possuindo uma razão focal de 1,0, ideal para trabalhos em baixas condições de luminosidade. Isto permite a detecção de meteoros de baixo brilho pelo sensor da câmera.

A câmera ainda foi modificada, retirando o filtro infravermelho (IR) de seu sensor de imagem do tipo CCD (do inglês *Charge-Coupled Device*). Esta modificação aumenta o espectro de luz captado pelo dispositivo e, em consequência, aumenta sua sensibilidade. A câmera ainda foi configurada dentro de parâmetros a fim de que se pudesse aumentar seu brilho, contraste e tempo de exposição. Para a análise de dados deste trabalho, foram utilizados dois softwares principais, sendo o UFOCapture para o monitoramento e o Real-time Spectroscopy (RSpec) para auxiliar nas análises da composição química dos meteoros registrados. Alguns ajustes foram feitos nos parâmetros do UFOCapture a fim de evitar capturas indesejadas, chamados de ‘falsos positivos’, o que pode ocorrer durante o monitoramento, como por exemplo a captura de aves, aviões, satélites, raios de tempestades entre outros.

5 Resultados

A partir das imagens e dados coletados pela câmera vinculada ao presente projeto foi possível obter os resultados a seguir. Na Figura 3, temos um recorte de um *frame* de vídeo capturado pela câmera. Esse recorte revela a imagem do meteoro como um objeto pontual à esquerda, e à direita seu respectivo espectro.



Figura 3: Recorte do frame do vídeo do meteoro capturado no dia 02/01/2023, Fonte: BRAMON/PATRICIA-uODA2 (2023).

Com esta captura, procedemos com a análise do espectro luminoso utilizando o software RSpec. Esse software nos permite realizar uma análise detalhada e precisa dos dados espectrais obtidos. Com o auxílio do RSpec, geramos um gráfico de intensidade por comprimento de onda (Å), como pode ser observado na Figura 4.

Esse gráfico representa a distribuição de intensidade do espectro gravado em diferentes comprimentos de onda. Através da calibração do comprimento de onda em função da intensidade, estudamos os picos que compõem o espectro. Esses picos são indicativos de emissões específicas de diferentes elementos químicos presentes no corpo celeste que gerou tal rastro luminoso.

Assim, para determinar a composição química do espectro emitido pelo referido meteoro, utilizamos as referências presentes no próprio software RSpec e também consultamos a bibliografia conhecida sobre espectros luminosos de elementos químicos. Comparando os picos de intensidade do espectro capturado com as referências, identificamos os principais elementos químicos presentes em sua composição. Dessa maneira, ao identificar tais linhas espectrais que correspondem a transições eletrônicas específicas, podemos determinar a composição química da luz emitida pelo meteoro, assim como os principais elementos químicos presentes no material que o originou.

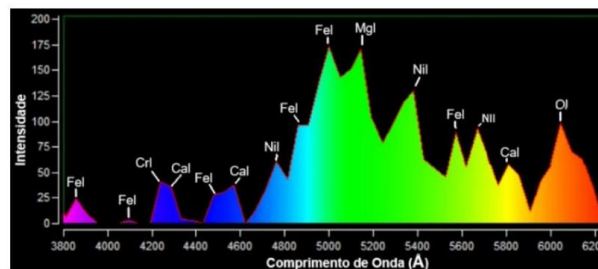


Figura 4: Gráfico de intensidade x comprimento de onda (Å) do espectro do *frame* analisado. Fonte: Autores (2023). Suspeitamos que o meteoro capturado é uma rocha condritica ordinária do grupo químico H, provavelmente originário de um asteroide da mesma família, pois, como é possível verificar, encontramos a presença de Ferro, Cromo, Cálcio, Níquel, Magnésio, Nitrogênio e Oxigênio, elementos estes muito comuns na família dos CO – H.

6 Discussão

6.1 Imagem capturada

Na Figura 3, podemos observar um fenômeno conhecido como ‘ruído de imagem’, que resulta em um efeito de granulação perceptível. Esse ruído é causado pela presença da grade de difração na câmera, o que impacta negativamente a qualidade da imagem capturada. É importante destacar que a presença do ruído de imagem, causado pela grade de difração, pode variar dependendo da configuração específica da câmera e da qualidade da grade utilizada. Em algumas situações, pode ser possível minimizar ou corrigir parcialmente esse ruído por meio de técnicas de processamento de imagem ou ajustes na configuração da câmera. Ao compararmos a imagem de uma câmera sem a grade de difração e uma com a grade, podemos notar uma diferença significativa na nitidez e na definição dos detalhes.

A granulação da imagem, embora neste caso não interfira diretamente na obtenção e no estudo do espectro, se esse efeito for muito intenso, pode apresentar dificuldades na análise quantitativa do espectro do meteoro. Isto porque ela pode introduzir variações aleatórias na intensidade luminosa em diferentes pixels da imagem. Essas variações podem sobrepor os detalhes do espectro do meteoro e dificultar a identificação de linhas espectrais. Além disso, a granulação intensa pode fazer com que o sinal do meteoro se misture com o ruído de fundo, reduzindo a relação sinal-ruído e tornando mais desafiadora a extração de informações espectrais confiáveis.

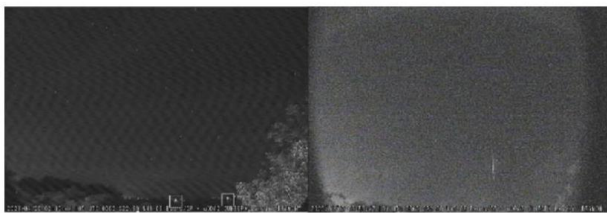


Figura 5: À esquerda uma imagem capturada por uma câmera sem grade de difração. À direita, uma imagem capturada através de uma câmera com grade de difração acoplada. Ambas as imagens foram feitas no âmbito do projeto PATRICIA. Fonte: Autores (2023).

Desse modo, a análise quantitativa do espectro envolve a medição precisa das intensidades luminosas em diferentes comprimentos de onda. Para isso, é necessário realizar uma separação clara entre o sinal de interesse e o ruído de fundo, que inclui o ruído de imagem gerado pela granulação. Se o ruído de imagem for excessivo, pode dificultar a identificação e a medição precisa das características espectrais relevantes.

Alguns dos principais motivos que podem causar o ruído de imagem são:

- **Calor:** Em altas temperaturas (seja por conta do clima ou do aquecimento da câmera) a imagem capturada pode apresentar ruído, chamamos isso de ruído térmico.
- **Mal contato:** Cabos e conectores mal encaixados ou mal isolados também podem causar ruído de imagem.
- **Má configuração dos ajustes de imagem da câmera:** Toda câmera Samsung-SCB 2000 possui um controle de imagem e vídeo. Se estes não forem adequadamente configurados, a imagem capturada pode perder a qualidade.
- **Má configuração dos parâmetros do software de captura:** O UFOCapture possui uma série de parâmetros de configuração que são responsáveis, justamente, por fazer uma boa captura de imagem. Se estes estiverem mal calibrados, a imagem obtida poderá não ser tão boa.

6.2 Frame estudado

É importante ressaltar que fizemos a análise do espectro do *frame* mais brilhante do vídeo, pen-

sando na temperatura do meteoro e na energia de excitação dos elétrons de cada elemento. Isso porque, cada elemento possui um *gap* de energia distinto, ou seja, a quantidade de energia necessária para que um elétron salte de um nível energético menor para um nível energético maior. Ao retornar ao seu estado fundamental, buscando minimizar sua energia total, o elétron emite um fóton cuja energia é diretamente proporcional ao valor do *gap* energético. Esse fóton possui uma frequência, comprimento de onda e cor específica (se a energia estiver contida na faixa visível do espectro eletromagnético, uma vez que a maioria dos fótons não são visíveis), de acordo com o elemento químico do qual se originou.

Como cada elemento químico possui uma configuração eletrônica única, isso resulta em distintos fótons para cada material. Além disso, as linhas espectrais, que são características de cada elemento, também variam. Essa compreensão aprofundada das propriedades dos elétrons excitados e das emissões de fótons nos permite identificar e distinguir os elementos presentes no meteoro com base nas informações espectrais.

Assim, analisando o *frame* de maior intensidade, onde a temperatura do meteoro atinge o seu pico, podemos observar a emissão de luz por diversos elementos presentes como Fe, Cr, Ca, Ni, Mg, N e O.

Acredita-se que a origem do meteoro seja provavelmente de um asteroide rochoso, devido à presença dos elementos Mg e Ca, o que exclui a possibilidade de ser de origem metálica. Os meteoritos do tipo condrito ordinário (CO), que possuem esses elementos, são os mais comuns em casos de incidência de queda. No entanto, elementos como Si (silício), Al (alumínio) e Na (sódio), presentes na sua composição, precisam ser mais bem analisados para confirmar essa origem. Além disso, existem elementos em quantidades muito pequenas, conhecidos como elementos traços, que também não foram identificados devido aos seus baixos níveis de concentração, abaixo dos limites de detecção do método utilizado. No futuro, análises mais refinadas serão necessárias para fazer tal afirmação.

Com base nisso, o próximo passo do nosso estudo é examinar a evolução do espectro ao longo do tempo e em relação à temperatura. Através da magnitude, é possível calcular a temperatura

do corpo celeste. Dessa forma, ao analisar a temperatura *frame a frame*, conseguiremos determinar a temperatura em que cada elemento químico começa a emitir luz. Essa análise detalhada da evolução do espectro em função do tempo e da temperatura nos permite obter informações valiosas sobre o meteoro. Compreender esses padrões pode contribuir para avanços científicos e uma melhor compreensão dos processos físicos envolvidos nos fenômenos astronômicos e na formação dos corpos celestes.

7 Conclusão

Observamos a presença de Ferro, Cromo, Cálcio, Níquel, Magnésio, Nitrogênio e Oxigênio, todos em suas formas neutras, exceto pelo Nitrogênio, que foi encontrado em sua forma ionizada, características estas esperadas do espectro de um corpo superaquecido.

Não podemos afirmar a origem do corpo parental, mas podemos supor, com base na composição química encontrada, que nosso objeto de estudo é uma rocha do tipo condrito ordinário. Devido a alta concentração de Fe, é possível que esta rocha seja, inclusive, oriunda de um condrito ordinário pertencente ao grupo químico H (*High*, que significa alto teor de Fe). Como é apontado por Norton e Chitwood [15], esse grupo contém de 25 a 30% de sua composição em Ferro, e dada a alta concentração de Ni, esta suposição de um condrito H é reforçada, pois este tipo de rocha possui pequenos grãos metálicos de Fe e Ni na sua estrutura. Em relação a presença de Oxigênio e Nitrogênio no espectro, é provável que sejam oriundos da atmosfera, conforme apontado por Millman [1] e Marreira [2].

O monitoramento espectroscópico de meteoros é uma atividade importante que deve ser realizada por observatórios, pesquisadores e astrônomos amadores no hemisfério sul e em todo o mundo. Essa técnica contribui significativamente para a pesquisa em astronomia e para o estudo dos fenômenos relacionados aos meteoros, enriquecendo nosso conhecimento sobre a história e a dinâmica do sistema solar. Para obter o máximo aproveitamento desse método, é necessário investir em estudos teóricos e observações adicionais, e esperamos que nosso estudo possa contribuir com

essa área tão escassa no hemisfério sul.

Agradecimentos

Agradecemos ao Sr. Renato Poltronieri e Me. Rubens Marreira, por disponibilizar dados e material para a montagem do equipamento de captura. Em especial, gostaríamos de deixar nossos agradecimentos ao Sr. Lionel Andriatto, cuja habilidade em consertar o equipamento de captura foi essencial para superarmos desafios técnicos ao longo do processo, ao Dr Jiří Borovička (AsÚ AV ČR/Ondřejov) por se mostrar tão solícito em compartilhar seus artigos publicados, contribuindo significativamente para a compreensão e análise dos dados obtidos. Por fim, ao Prof. Dr. Roberto Boczko (IAG/USP), por sua revisão criteriosa deste material, o que garantiu sua qualidade e precisão. Estendemos nosso sincero agradecimento a essas pessoas que desempenharam papéis importantes para o progresso deste projeto.

Sobre os autores

Matheus Agenor (matheus.agenor@unesp.br) é discente do curso de física da Unesp, cursando Licenciatura em Física e Bacharelado em Física de Materiais. Também é Monitor Sênior no Observatório Didático de Astronomia 'Lionel José Andriatto'. Além disso, desenvolve um projeto de iniciação científica com o título Análise Espectral da Composição Química de Meteoros Incidentes no Hemisfério Sul, sob a orientação do Professor Dr. Rodolfo Langhi (rodolfo.langhi@unesp.br), docente do Departamento de Física e Meteorologia e do programa de pós-graduação em Educação para Ciência, além de Coordenador do Observatório Didático de Astronomia 'Lionel José Andriatto'.

Referências

- [1] P. M. Millman, *One hundred and fifteen years of meteor spectroscopy*, [Symposium - International Astronomical Union 90](#), 121 (1980).

- [2] R. A. D. Marreira, *Bramon, Análise Dos Melhores Meteoros Registrados Pela Estação De Monitoramento De Meteoros Otto1/BRAMON*, Trabalho de Conclusão de Curso, Licenciatura em Física, Universidade Estadual do Ceará (2018).
- [3] S. Kepler e M. Saraiva, *Astronomia e Astrofísica* (Editora Livraria da Física, São Paulo, 2017), 4^a ed.
- [4] P. G. Varella, *Meteoróides, meteoros e meteoritos* (Planetário/Escola Municipal de Astrofísica, São Paulo, 1985).
- [5] V. A. Bronshten, *Physics of Meteoric Phenomena* (Springer Netherlands, 1983).
- [6] J. Corrêa, *Estudo de meteoros e investigações de seus efeitos na ionosfera com dados do radar SKiYMET e GPS*, Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos (2003). Disponível em http://www.inpe.br/posgraduacao/ast/arquivos/dissertacoes/dissertacao_jorge_albuquerque_2003.pdf, acesso em ago. 2023.
- [7] R. Hutchison, I. P. Williams e S. S. Russell, *Theories of planetary formation: constraints from the study of meteorites*, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* **359**(1787), 2077 (2001).
- [8] P. Vernazza et al., *Compositional differences between meteorites and near-Earth asteroids*, *Nature* **454**(7206), 858 (2008).
- [9] J. Borovicka, R. Stork e J. Bocek, *First results from video spectroscopy of 1998 Leonid meteors*, *Meteoritics & Planetary Science* **34**(6), 987 (1999).
- [10] B. Zanda e M. Rotaru (eds.), *Meteorites: their impact on science and history* (Cambridge University Press, 2001).
- [11] R. A. Gallant, *The Meteorite Hunter: The Search for Siberian Meteorite Craters* (McGraw-Hill, 2002).
- [12] J. Borovička et al., *A survey of meteor spectra and orbits: evidence for three populations of Na-free meteoroids*, *Icarus* **174**(1), 15 (2005).
- [13] J. M. Trigo-Rodriguez et al., *Chemical abundances determined from meteor spectra: I. Ratios of the main chemical elements*, *Meteoritics & Planetary Science* **38**(8), 1283 (2003).
- [14] P. Millman, *A complex Perseide meteor spectrum*, *Sky and Telescope* **15**, 445 (1956).
- [15] O. R. Norton e L. A. Chitwood, *Field Guide to Meteors and Meteorites* (Springer, London, 2008).