Meteoros detectados na América do Sul por estações infrassônicas do Sistema Internacional de Monitoramento (IMS)

Letícia Guedes Assunção[1], Lucas Vieira Barros[1], Darlan Portela Fontenele[1] , Juraci Mario de Carvalho[1] , Vinícius de Miranda Pellussi [1]

1. Observatório Sismológico da Universidade de Brasília (UnB).

Copyright 2024, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no IX Simpósio Brasileiro de Geofísica, Salvador, 08 a 10 de outubro de 2024. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do X SimBGf, mas não necessariamente representa a opinião da SBGf ou de seus associados. É proibida a reprodução total ou parcial deste material para propósitos comerciais sem prévia autorização da SBGf.

Resumo

Objetos celestiais advindos do espaço vem despertando ao longo de anos muita curiosidade e medo entre as pessoas ao redor do mundo. Segundo a NASA (National Aeronautics and Space Administration), os cientistas estimam que cerca de 48,5 toneladas de material meteórico caem na Terra diariamente, penetrando na atmosfera a velocidades supersônicas, que excedem em muito a velocidade do som. O Sistema Internacional de Monitoramento (IMS), uma rede global designada para detectar explosões nucleares em conformidade com o Tratado de Proibição Completa de Testes Nucleares (CTBT), além de contribuir para o monitoramento de testes nucleares clandestinos, em violação do Tratado CTBT, sua rede de infrassom também pode ser usada para estudar a geração de ondas infrassônicas por meteoros, outros fenômenos metereológicos e antropogênicos. Este trabalho apresenta um catálogo com os bólidos e bolas de fogo detectados na América do Sul, por estações infrassônicas do IMS entre 2018-2023.

Introdução

Há cerca de 66 milhões de anos, ocorreu um dos maiores eventos de extinção em massa da história da Terra, conhecido como Extinção Cretáceo-Paleógeno (K-Pg). Estima-se que aproximadamente 75% das espécies vivas na época foram extintas, incluindo os dinossauros (Schulte et al., 2010). Acredita-se que a causa principal tenha sido um impacto de asteroide. O asteroide em questão é conhecido como Chicxulub, devido à sua localização na Península de Yucatán, México (Schulte et al., 2010; Alvarez et al., 1980). A partir do evento de extinção (K-Pg), os estudos sobre asteroides e cometas emergiram como áreas significativas de pesquisa científica. Esses estudos visam melhorar a compreensão desses objetos espaciais, monitorar potenciais ameaças à Terra e investigar a formação e evolução do sistema solar. O infrassom ou mais precisamente a tecnologia infrassônica, uma das inovações do Sistema Internacional de Monitoramento (IMS), operado pela Organização do Tratado de Proibição Total de Testes Nucleares (CTBTO), desempenha um papel importante no monitoramento e detecção de meteoros (ReVelle,1976; Evers and Haak, 2001), bem como na verificação do Tratado de Proibição Total de Testes Nucleares (CTBT). Essa tecnologia detecta variações na pressão do ar causadas por meteoros, que são fenômenos luminosos resultantes da interação de meteoroides (fragmentos de asteroides, corpos rochosos e metálicos) e cometas (compostos de gelo, poeira e gases) com as camadas atmosféricas (Brown et al., 2008; Le Pichon et al., 2008; Arrowsmith et al., 2008) (Fig.1). Frequentemente, esses meteoros não atingem o solo, não gerando meteoritos. Ao entrar na atmosfera terrestre em alta velocidade (11.2–72.8 km/s) (Ceplecha et al., 1998), o meteoroide passa por um processo chamado ablação que ocorre quando o meteoroide interage com as camadas atmosféricas de densidade maior, situadas aproximadamente entre 100 km e 80 km de altitude (Kalinowski, et al 2009). Durante a ablação, o meteoroide perde massa devido ao aquecimento extremo provocado pelo atrito com o ar, que aquece a superfície do meteoroide a temperaturas tão elevadas que ele começa a vaporizar e se desprender. Esse fenômeno de perda de massa é acompanhado por um espetáculo luminoso conhecido como meteoro ou estrela cadente (Fig. 2). À medida que o meteoroide se aquece, ioniza o ar ao seu redor, gerando uma trilha brilhante visível no céu.

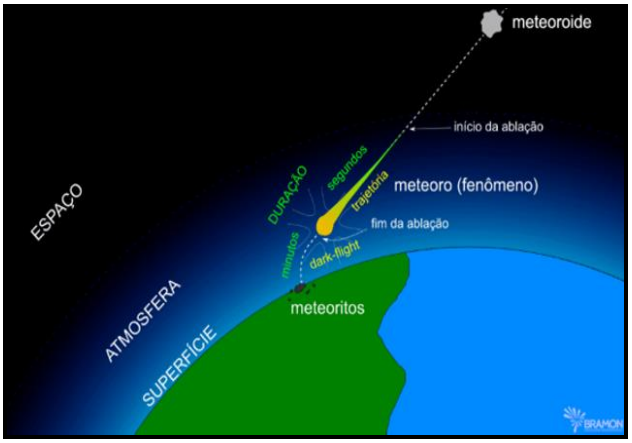

***Figura 1**: Representação do processo de ablação de um meteoroide. Fonte: (Bramom, 2024)*

Esse processo provoca a luminosidade dos meteoros e pode reduzir significativamente o tamanho do meteoroide (Ceplecha et al. 1998). Dependendo das dimensões e intensidade do brilho, um meteoro pode ser classificado

como uma bola de fogo, que é um meteoro excepcionalmente brilhante, com magnitude próxima ao do planeta Vêus, se o meteoro for ainda mais brilhante e explodir na atmosfera, alguma vezes acompanhado de um estrondo sônico causado pela onda de choque, ele é classificado como um bólido (American Meteor Society, 2024) (Fig. 2).

***Figura 2**: Representação das terminologias das rochas espaciais de acordo com suas características composicionais, dimensões e interações com a as camadas atmosféricas terrestres.. Modificada da American Meteor Society:* American Meteor Society, 2024).

A rede IMS, composta por 60 estações infrassônicas ao redor do planeta (Fig. 3), capta ondas acústicas de frequência muito baixa, entre 0,001 Hz e 20 Hz (frequências inaudíveis para o ser humano) (Gossard and Hooke, 1975). Essas estações possuem sensores barométricos que detectam fontes artificiais, como explosões em mineradoras, pedreiras (Georges, 1973; Lin & Langston, 2009; Bowman & Bedard, 2010) e testes nucleares (Christie et al.,2001), além de fontes naturais como meteoros (ReVelle, 1976; Evers and Haak, 2001). As estações também monitoram tempestades severas, microbaroms e aviões supersônicos. No total, a rede IMS tem 337 instalações globais, capazes de detectar testes nucleares em qualquer ambiente (massas aquáticas, atmosfera e subsuperfície) com potência superior ou equivalente a 1 quiloton (Kt) de TNT (Christie et al., 2001). Os dados detectados são enviados para o Centro Internacional de Dados (IDC) localizado em Viena, Áustria (Christie & Campus, 2009). As formas de ondas dos eventos detectados nos 4 ou mais elementos de uma estação infrassônica são convertidas em sinais digitais utilizando o algoritmo de Correlação Multicanal Progressiva (PMCC) (Cansi, 1995 e Le Pichon e Cansi, 2003). Esse algoritmo analisa as formas de ondas registradas em cada estação para identificar os eventos infrassônicos eventualmente detectados. Este trabalho apresenta um estudo sobre a capacidade de deteção das estações infrassônicas do IMS, localizadas na América do Sul e regiões oceânicas adjacentes, em detectar infrassom gerado por bólidos, meteoros e bolas de fogo, no período de 2018 a 2023. Os resultados são apresentados na forma de um catálogo contendo informações a cerca das características dos sinais detectados, tais como velocidade aparente da frente de onda, azimute, frequência e duração dos sinais.

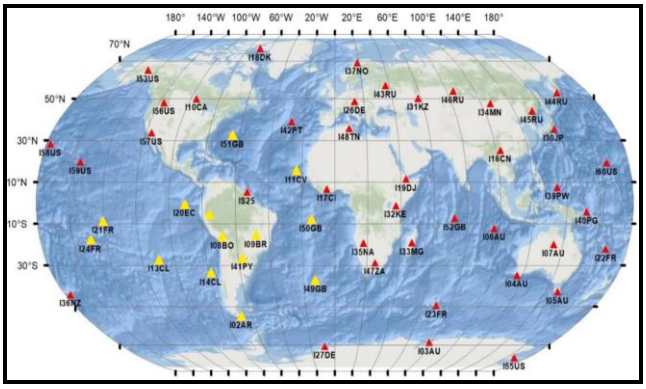

***Figura 3**- Estações infrassônicas do Sistema Internacional de Monitoramento (IMS). Os triângulos amarelos indicam as estações usadas neste estudo.*

Metodologia/ Problema Investigado

No presente estudo, os dados foram obtidos a partir do banco de dados do Center for Near-Earth Object Studies (CNEOS) da NASA. Este banco fornece informações sobre bólidos e bolas de fogo detectados pelos sensores GLM (Geostationary Lightning Mapper) dos satélites GOES-16 e GOES-17, incluindo latitude, longitude, hora do brilho máximo, energia emitida e velocidade dos eventos registrados (CNEOS, 2024). Durante o período de estudo (2018-2023), o GLM detectou 228 eventos de bólidos e bolas de fogo ao redor do planeta Terra. Esses eventos foram posteriormente investigados no site do CTBT (CTBTO Web Portal, 2024), nos produtos do IDC (SEL-3**:** Lista de Eventos Padrão 3), com o intuito de localizá-los e identificar aqueles que ocorreram na América do Sul e proximidades. Este procedimento visou avaliar a capacidade das estações sul-americanas em detectar eventos meteoríticos. Para tanto, foi conduzida uma análise abrangente em todas as estações sob estudo, localizadas na América do Sul e em regiões oceânicas adjacentes (Fig. 4): I09BR (Brasil), I08B0 (Bolívia), I41PY (Paraguai), I13CL e I14CL (Chile), I20EC (Equador), I01AR e I02AR (Argentina), além das estações localizadas no Oceano Atlântico, I49GB e I50GB (Gran Bretania), e no Pacífico 121FR, I24FR e I25FR (França), e a estação I11CV (Cabo Verde). Esta análise foi focada na detecção de eventos infrassônicos gerados por bólidos e bolas de fogo. A investigação desses eventos teve como objetivo principal o desenvolvimento e elaboração de um catálogo detalhado. Para isso, foram desenvolvidos scripts específicos para a busca de dados nos produtos IDC, seguidos pelo download das informações pertinentes. Posteriormente, esses dados foram processados utilizando o software

DTK-GPMCC (Cansi, 1995), permitindo a análise detalhada dos parâmetros como frequência, velocidade, azimute da frente de ondas e duração das detecções. Ao término do estudo, um catálogo completo foi compilado, tabulando todos os parâmetros relevantes dos eventos investigados.

***Figura 4**- Estações infrassônicas do IMS localizadas na América do Sul e regiões oceânicas adjacentes que foram utilizadas neste estudo.*

Resultados

Dos 228 eventos buscados na Lista de Eventos Padrão 3 (Sel- 3), apenas 14 eventos de bólidos (figuras 5 e 6) ocorreram na América do Sul e vizinhanças, os quais geraram ondas infrassônicas detectáveis. A maioria desses eventos teve suas localizações registradas nos oceanos Pacífico e Atlântico. Vale ressaltar que as estações localizadas em regiões oceânicas I49GB e I50GB, I21FR e I24FR, pertencentes ao reino Unido e França, respectivamente, foram utilizadas devido às suas proximidade geográfica com os eventos.

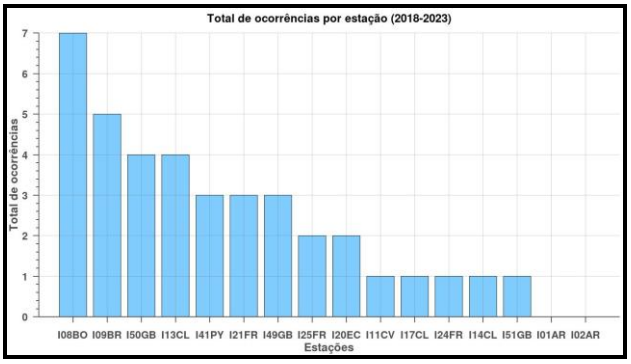

***Figura 5**: Representação do número total de ocorrências por estação.*

Ainda assim, três eventos ocorreram em regiões continentais, e felizmente nenhum deles resultou em danos, provavelmente se desintegraram em altas altitudes. É relevante mencionar que o evento do dia 6 de dezembro de 2019 ocorreu proximo à costa brasileira. Além disso, o evento do dia 16 de outubro de 2023 ocorreu próximo ao Amazonas, Brasil; o evento que aconteceu no dia 28 de janeiro de 2022, ocorreu próximo ao Peru; e no dia 23 de março de 2020 próximo a San Pedro de Atacama, Chile; A estação I08BO, localizada na Bolívia, destacou-se ao registrar 7 detecções de eventos infrassônicos de bólidos e bolas de fogo. As estações I09BR detectou 5 eventos, I50GB e I13CL contribuíram com 4 detecções cada, I41PY , I21FR e I49GB com 3 detecções e I25FR e I20EC com apenas 2 detecções . Em contrapartida, as estações I11CV, I17CI, I24FR, I14CL, e I51GB apresentaram uma detecção apenas (Fig-4). As estações da Argentina, I01AR e I02AR, não detectaram nenhum dos catorze eventos de bólidos. Os catorze eventos foram processados e analisados no software DTK-GPMCC e a partir dai foram extraídas informações de tais eventos como chegada da frente de onda na estação, velocidade aparente, frequência, back azimute,distância e duração.

***Figura 6** – Bólidos e bolas de fogo detectados e estações infrassônicas do IMS utilizadas neste estudo.*

Para melhor compreensão são apresentados nas figuras 7 a 9 os registros das ondas infrassônicas geradas pelo bólido que ocorreu no dia 28/07/2022, no sudeste da Ilhas Galápagos (Equador), detectado por três estações do IMS: I20EC no Equador (Fig. 7), I08BO na Bolívia (Fig. 8) e I09BR no Brasil (Fig. 9).

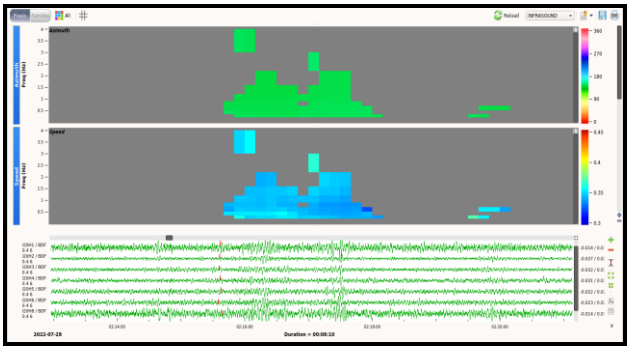

***Figura 7**: Sinal de infrassom gerado pelo bólido do dia 28/07/2022, detectado pela estação I20EC (Equador), localizada a cerca 670 km de distância da fonte. No retângulo superior está a informação do backazimute médio (147,2°) e no retângulo inferior está a informação da velocidade média de fase (0,347 Km/s).*

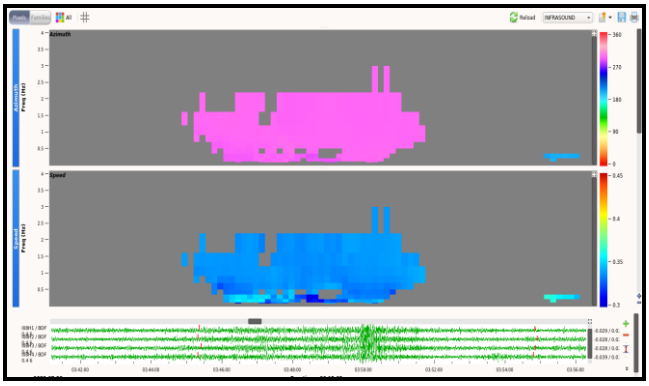

Figura 8*-Sinal de infrassom gerado pelo bólido do dia 28/07/2022, detectado pela estação I08BO (Bolívia), localizada a cerca 2378 km de distância da fonte. No retângulo superior está a informação do backazimute médio (294,2°) e no retângulo inferior está a informação da velocidade média de fase (0,337 Km/s).*

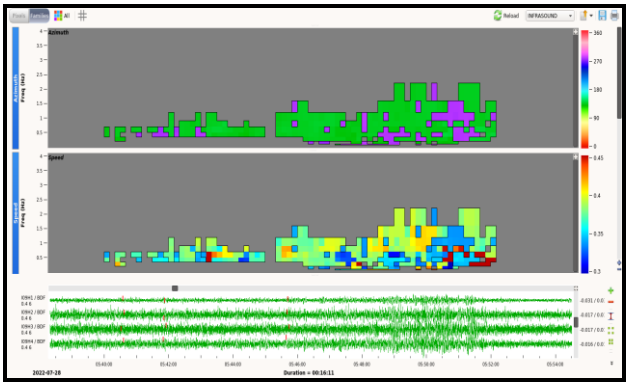

Figura 9*- Sinal de infrassom gerado pelo bólido de 28/07/2022, detectado na estação I09BR (Brasil), localizada em Brasília-DF a cerca de 4452 km de distância da fonte. No retângulo superior está a informação do backazimute médio (277°) e, no retângulo inferior está a informação da velocidade média de fase (0.354 km/s).*

O evento foi registrado pelos sensores GLM, à 01:36 UTC (Tempo Universal Coordenado). De acordo com o banco de dados da CNEOS, o bólido associado estava viajando a uma velocidade de 29,9 km/s. Utilizando o software DTK-GPMCC, foram analisados os dados de formas de ondas infrassônicas registrados pela estação IS20 no Equador (Fig. 7), localizada a aproximadamente 670 km do evento. A detecção dos sinais de infrassom ocorreu 39 minutos após o sensor GLM registrar o brilho máximo do evento na Ilha de Galápagos, às 2:15 UTC. A frente de onda infrassônica chegou à estação com um backazimute de 147,2°, próximo ao azimute calculado da estação até a fonte de 149°. Os sensores microbarográficos registraram uma frequência de 0,843 Hz, enquanto a velocidade da frente de onda foi de 0,347 km/s, com duração total de 280 segundos.

Às 03:45 UTC, a frente de onda atingiu a estação IS08 (Bolívia), localizada a 2378 Km do ponto de origem do evento(Fig. 8). Em conformidade com a estimativa de uma hora e cinquenta e sete minutos (01:57) para a propagação da onda até a estação, a chegada ocorreu com uma pequena variação temporal, alguns minutos depois. O back azimute, registrado pelo DTK-GPMCC foi de 294,2°, apresentanto uma proximidade notável com o azimute calculado da fonte até a estação de 298°. A frente de onda, com duração de 420 segundos, exibiu uma frequência de 0.850 Hz e uma velocidade aparente de 0,337 km/s.

O sinal captado pela estação IS09 (Fig. 9) foi o menos claro, devida à longa distância da fonte, 4452 km. A onda levou cerca de três horas e trinta e oito minutos para alcançar a estação, registrando-se por volta das 05:40 UTC nos sensores microbarógrafos localizados em Brasília. Na análise horária, foram identificadas duas famílias de backazimutes distintos: uma com 277° (Família roxa) e outra com 137°(Família verde). A interpretação sugere que o evento associado ao bólido correspondeu ao backazimute de 277°, alinhando-se com o azimute calculado de 278° até a estação de Brasília. Este evento exibiu uma frequência de 0,561 Hz, velocidade aparente de 0,354 km/s e duração total de 390 segundos.

Discussão e Conclusões

Este estudo foi importante para explorar as características dos sinais de infrassom gerados por bólidos e bolas de fogo, uma área de pesquisa ainda carente de conhecimento detalhado. Embora permeada por incertezas, é evidente o potencial de aprendizado nos dados abundantes coletados diariamente por satélites, câmeras e estações infrassônicas do Sistema Internacional de Monitoramento (IMS). Essas estações, originalmente designadas para verificar o Tratado CTBT, também se revelam sensíveis à entrada de meteoroides na atmosfera. Neste trabalho foi compilado um catálogo de eventos infrassônicos gerados por bólidos e bolas de fogo registrados nas estações do IMS localizadas na América do Sul e em ilhas oceânicas vizinhas (Fig. 6, Tabela 1). A geração de ondas infrassônicas está diretamente ligada ao momento em que o meteoroide atravessa diferentes camadas da atmosfera, gerando ondas de choque balísticas que se propagam como infrassom. Essas ondas, devido às suas frequências muito baixas e longos comprimentos de onda, podem percorrer longas distâncias devido à baixa atenuação, podendo ser detectadas a milhares de quilômetros de distância. É importante ressaltar que a desintegração do meteoroide não é a única fonte de geração de ondas infrassônicas, pois a própria trajetória do meteoroide pode gerar ondas de choque balísticas que se propagam como ondas infrassônicas. A partir dos dados coletados pelos satélites GOES-16 e GOES-17, equipados com o Geostationary Lightning Mapper, e do banco de dados do

CNEOS, foram identificados eventos detectados pelas estações infrassônicas. Destaque para a estação I08BO na Bolívia, que detectou sete eventos ao longo do período estudado, seguida por I09BR com cinco detecções. Em resumo, a precisão na detecção de bólidos e bolas de fogo pelas estações infrassônicas do IMS é importante para a segurança e confiabilidade nas detecções da rede IMS considerando a ocorrência de explosões nucleares atmos féricas clandestinas. Esta capacidade oferece insights importantes para a prevenção de impactos de meteoroides na Terra e para a compreensão da distribuição desses eventos. Considerando a diversidade geográfica das estações e os fatores que afetam a detecção, este estudo contribui para o aprimoramento das estratégias de monitoramento. O próximo passo é expandir a pesquisa para incluir um número maior de eventos de bólidos, visando aprofundar ainda mais nossa compreensão e validar novas descobertas científicas.

Agradecimentos

A primeira autora expressa sua gratidão, primeiramente, a Deus, por conceder forças diárias para lutar por seus sonhos. Agradece também aos familiares, pelo apoio constante e encorajamento. Por fim, agradece ao Observatório Sismológico da Universidade de Brasília pela oportunidade de participar de estudos e pesquisas na área de infrassom ao longo de três anos, permitindo-lhe adquirir conhecimentos e trabalhar com o que gosta.

Referências

Alvarez, L. W., Alvarez, W., Asaro, F., & Michel, H. V. (1980). Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction. Science, 208(4448), 1095-1108.

American Meteor Society. Fireball FAQs. Retrieved from https://www.amsmeteors.org/fireballs/faqf/. Accessed on January 5, 2024.

Arrowsmith, S. J., ReVelle, D. O., Edwards, W., & Brown, P. (2008). Global detection of infrasonic signals from three large bolides. Earth Moon Planets, 102(1-4), 357-363. https://doi.org/10.1007/978-0-387-78419-9_50

Barros, L. V., Neri, B. L., Carvalho, J. M., & Fontenele, D. P. (2020). A Participação brasileira no sistema de verificação do tratado de proibição total de testes nucleares.

Bowman, H., & Bedard, A. (2010). Observations of infrasound and subsonic disturbances related to severe weather. Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, 26, 215–242.

Brown, P., ReVelle, D. O., Silber, E. A., Edwards, W. N., Arrowsmith, S., Jackson, L., Tancredi, G., & Eaton, D. (2008). Analysis of a crater-forming meteorite impact in Peru. Journal of Geophysical Research, E09007. https://doi.org/10.1029/2008JE00310

Cansi, Y. (1995). An automatic seismic event processing for detection and location: The P.M.C.C. Method. Geophysical Research Letters, 22(9), 1021–1024. https://doi.org/10.1029/95GL00468

Center for Near-Earth Object Studies (CNEOS). Fireballs. Jet Propulsion Laboratory, NASA. Retrieved from https://cneos.jpl.nasa.gov/fireballs/. Accessed on January 12, 2024.

Ceplecha, Z., Borovička, J., Elford, W. G., ReVelle, D. O., Hawkes, R. L., Porubčan, V., & Šimek, M. (1998). Meteor phenomena and bodies. Space Science Reviews, 84(3-4), 327-471.

Christie, D. R., & Campus, P. (2009). The IMS Infrasound Network: Design and Establishment of Infrasound Stations. In A. Le Pichon, E. Blanc, & A. Hauchecorne (Eds.), Infrasound Monitoring for Atmospheric Studies (pp. 29–75). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9508-5_2

Evers, L. G., & Haak, H. W. (2001). Listening to sounds from an exploding meteor and oceanic waves. Geophysical Research Letters, 30, 41–44. https://doi.org/10.1029/2000GL011859

Gossard, E. E., & Hooke, W. H. (1975). Waves in the atmosphere: Atmospheric infrasound and gravity waves - Their generation and propagation. Academic Press.

Le Pichon, A., Blanc, E., & Hauchecorne, A. (Eds.). (2009). Infrasound Monitoring for Atmospheric Studies. Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9508-5

Le Pichon, A., & Cansi, Y. (2003). PMCC for infrasound data processing. Inframatics, 2, 1–9.

Mialle, P., Brown, D., & Brachet, N. (2019). Infrasound Sources. Preparatory Commission for the Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization. Provisional Technical Secretariat, Vienna International Centre.

NASA. Meteor Showers and Meteors. Retrieved from https://solarsystem.nasa.gov/asteroids-comets-and-meteors/meteors-and-meteorites/in-depth/. Accessed on January 5, 2024.

NASA. Meteors and Meteorites. Retrieved from https://science.nasa.gov/solar-system/meteors-meteorites. Accessed on January 2024.

ReVelle, D. O. (1976). On meteor-generated infrasound. Journal of Geophysical Research, 81(7), 1217–1230. https://doi.org/10.1029/JA081i007p01217.

Schulte, P., Alegret, L., Arenillas, I., Arz, J. A., Barton, P. J., Bown, P. R., Bralower, T. J., Christeson, G. L., Claeys, P., Cockell, C. S., Collins, G. S., Deutsch, A., Goldin, T. J., Grajales-Nishimura, J. M., Grieve, R. A. F., Gulick, S. P. S., Johnson, K. R., Kiessling. et al. (2010). The Chicxulub Asteroid Impact and Mass Extinction at the Cretaceous-Paleogene Boundary. Science, 327(5970), 1214-1218.

EVENT N°	STATION	EVENT DATE	EVEN TIME	ARRIVAL TIME	LATITUDE	LONGITUDE	DISTANCE KM	VELOCIDADE KM/S	BACK AZIMUTH	FREQUENCY HZ	DURATION
1	I09BR	16/10/2023	17:16	19:19	-6,2647°	-65,6634°	2174	0.352	297.4	1.017	160
	I41PY	16/10/2023	17:16	19:23	-6,2647°	-65,6634°	2413	0.366	333	0.702	660
2	I21FR	14/10/2023	22:55	01:13	-9,1015°	-162,8784°	2542	266.8	0.740	0.351	530
	I24FR	14/10/2023	22:55	00:31	-9,1015°	-162,8784°	1788	302.7	0.9285	0.349	280
3	I21FR	05/08/2023	19:54	23:13	20,774°	-135,6956°	3363	16,86	0,295	0,393	21
4	I20EC	28/07/2022	01:39	02:15	-5,5829°	-87,4058°	668,9	0,347	147,2	0,843	280
	I08BO	28/07/2022	01:39	03:45	-5,5829°	-87,4058°	2378	0,337	294,2	0,85	420
	I09BR	28/07/2022	01:39	05:45	-5,5829°	-87,4058°	4452	0,354	277,1	0,561	390
5	I49GB	22/07/2022	00:19	01:52	-23,3627°	-19,1206°	1698	0,337	337,4	1,236	160
	I50GB	22/07/2022	00:19	01:57	-23,3627°	-19,1206°	1767	0,353	197,7	0,843	160
6	I20EC	06/03/2022	15:05	16:09	-3,6036°	-100,0169°	1157	0,352	251,8	1,827	80
	I13CL	06/03/2022	15:05	17:40	-3,6036°	-100,0169°	2828	0,355	21,1	1,308	120
7	I49GB	07/02/2022	20:15	22:20	-28,6011°	8,6498°	2182	0,352	66,18	1,041	90
	I50GB	07/02/2022	20:15	23:16	-28,6011°	8,6498°	3333	0,354	135,4	0,95	1130
8	I08BO	28/01/2022	05:04	06:25	-3,4909°	-75,4311°	1627	0,339	332,9	0,548	72
	I25FR	28/01/2022	05:04	07:30	-3,4909°	-75,4311°	2601	0,351	215,2	1,036	890
	I14CL	28/01/2022	05:04	08:04	-3,4909°	-75,4311°	3408	0,357	6,2	0,569	400
	I13CL	28/01/2022	05:04	09:06	-3,4909°	-75,4311°	4555	0,354	63,16	1,158	590
9	I08B0	21/10/2020	06:40	09:21	-29,3282°	-93,6°	2957	0,337	234,6	1,079	730
	I41PY	21/10/2020	06:40	09:21	-29,3282°	-93,6°	3583	0,344	255,1	1,14	240
10	I21FR	18/10/2020	10:56	11:23	-11,0476°	-136,3876°	485	121,2	0,85	0,349	300
	I13CL	18/10/2020	10:56		-11,0476°	-136,3876°	3342				
11	I08BO	23/03/2020	16:54	17:42	-23,9153°	-68,3924°	936	177,3	0,698	0,346	390
	I13CL	23/03/2020	16:54	20:35	-23,9153°	-68,3924°	4157	92,44	1,098	0,354	1190
12	I41PY	06/12/2019	10:28	13:24	-2,4799°	-38,8312°	3299	39,63	1,023	0,349	710
	I08BO	06/12/2019	10:28	13:44	-2,4799°	-38,8312°	3556	68,6	0,818	0,341	370
	I09BR	06/12/2019	10:28	11:53	-2,4799°	-38,8312°	1788	38,61	1,046	0,346	800
13	I51GB	22/06/2019	21:30	23:18	14,7186°	-67,5034°	1945	189	0,696	0,358	290
	I08BO	22/06/2019	21:30	00:38	14,7186°	-67,5034°	3439	0,6	0,699	0,339	710
14	I50GB	17/09/2018	01:12	02:31	-7,12510°	-27,39350°	1428	277.7	1.66	0.352	190
	I09BR	17/09/2018	01:12	03:25	-7,12510°	-27,39350°	2449	66.37	0.49	0.360	340
	I11CV	17/09/2018	01:12	03:29	-7,12510°	-27,39350°	2497	190.4	0.668	0.351	460
	I17CI	17/09/2018	01:12	04:30	-7,12510°	-27,39350°	3665	338.8	0.944	0.340	560
	I08BO	17/09/2018	01:12	02:31	-7,12510°	-27,39350°	1428	277.7	1.66	0.352	190

Tabela 1- Eventos de bólidos e bolas de fogo detectados pelas estações do IMS localizadas na América do Sul e regiões oceânicas próximas.