

---

**ACOPLAMENTO SISMO-ACÚSTICO  
NO AMBIENTE DE ESCUTA  
CRÍTICA: PERTURBAÇÃO  
IONOSFÉRICA, CAPACITÂNCIA  
CRUSTAL E A VIA DE  
DEGRADAÇÃO DE ÁUDIO  
SOLAR-SÍSMICA**

---

# Acoplamento Sismo-Acústico no Ambiente de Escuta Crítica: Perturbação Ionosférica, Capacitância Crustal e a Via de Degradação de Áudio Solar-Sísmica

C. Ohm, M. Ferro, Y. Tanaka, L. Solder

Equatorial Audio Research Division, Mitad del Mundo, Quito, Ecuador (0.0000deg N)

Journal of Equatorial Audio Science, 2026.

## Resumo

Um estudo de fevereiro de 2026 de Mizuno, Kao e Umeno (Universidade de Kyoto) propôs um mecanismo pelo qual perturbações ionosféricas induzidas por erupções solares poderiam desencadear terremotos em zonas de falha criticamente tensionadas. Estendemos esse modelo ao domínio do áudio. Instrumentamos uma sala de escuta de referência em Quito com um sismômetro de banda larga, um monitor de TEC ionosférico, um magnetômetro fluxgate e uma cadeia de medição de áudio de precisão. Durante a tempestade geomagnética G4 de 19 de janeiro de 2026 -- a mais intensa desde as tempestades de Halloween de 2003 -- registramos excursões simultâneas de TEC ionosférico de 42 TECU, aceleração microsísmica acoplada ao solo de 0,8  $\mu\text{m/s}^2$  na banda de 0,5-5 Hz e uma degradação transitória de 0,4 dB no THD+N medido do sistema de áudio de referência. A correlação entre o pico de TEC e a degradação de THD+N teve um atraso de 47 minutos, consistente com o tempo de propagação para acoplamento eletrostático ionosfera-crosta. Propomos o termo «via de degradação de áudio solar-sísmica» (SSADP) para esse mecanismo.

## 1. INTRODUÇÃO

Em 19 de janeiro de 2026, o Sol lançou seu evento de partículas energéticas mais poderoso desde as Grandes Tempestades de Halloween de outubro de 2003. Estávamos esperando.

Desde a publicação de nosso artigo de 2022 sobre interação de erupções solares com caminhos de sinal de áudio, mantivemos uma estação de monitoramento contínuo no laboratório de referência da Equatorial Audio em Quito.

Em 19 de janeiro de 2026, capturamos um evento. Mas os dados nos disseram algo que não esperávamos. A degradação de áudio que registramos não chegou com a tempestade geomagnética. Chegou 47 minutos depois. E chegou de baixo.

Esse atraso nos levou ao trabalho de Mizuno, Kao e Umeno na Universidade de Kyoto. Seu artigo propõe que perturbações ionosféricas de erupções solares podem gerar campos eletrostáticos que penetram a crosta terrestre por meio de um mecanismo de acoplamento capacitivo. O grupo de Kyoto está interessado em sismologia: eles propõem que essa pressão poderia desencadear ruptura em uma falha que já está criticamente tensionada.

Nosso interesse é diferente. Não estamos preocupados se o acoplamento solar-ionosférico-crustal desencadeia terremotos. Estamos preocupados com o que ele faz com o piso de uma sala de escuta.

## 2. O EVENTO DE 19 DE JANEIRO

Nossa estação de monitoramento em Quito registrou a seguinte sequência em 19-20 de janeiro de 2026:

17:42 UTC: Magnetômetro detecta início súbito de tempestade (SSC). Componente horizontal do campo cai 180 nT em 4 minutos.

17:44-19:15 UTC: Fase principal da tempestade geomagnética. A cadeia de medição de áudio mostra aumento imediato de 0,15 dB no THD+N, consistente com interferência direta do campo magnético.

19:15 UTC: Tempestade de radiação atinge pico S4. TEC ionosférico dispara de linha de base de 18 TECU para pico de 60 TECU -- um delta de 42 TECU.

20:02 UTC -- 47 minutos após o pico de TEC: O sismômetro de banda larga registra aumento transitório na aceleração do solo na banda de 0,5-5 Hz. A amplitude -- 0,8  $\mu\text{m/s}^2$  -- está muito abaixo do limiar de percepção humana, mas está acima do piso de ruído do sismômetro.

Simultaneamente com o transiente sísmico, a cadeia de medição de áudio registra uma segunda degradação de THD+N de 0,25 dB. A degradação total do THD+N do sistema durante o pico do evento é de 0,4 dB.

O atraso de 47 minutos é significativo. É longo demais para ser efeito de propagação eletromagnética direta. É curto demais para ser efeito de relaxação térmica ou mecânica. É consistente com a velocidade de propagação eletrostática prevista pelo modelo de Kyoto para uma coluna atmosférica de 300 km.

### 3. O MODELO DO CAPACITOR CRUSTAL

O modelo de Kyoto trata o sistema como uma série de capacitores acoplados:

Camada 1 -- Ionosfera à superfície: A ionosfera e a superfície terrestre formam as placas de um capacitor atmosférico.

Camada 2 -- Superfície a vazios crustais: A fundação do edifício, solo e crosta superior formam um segundo capacitor. Rocha fraturada contendo água pressurizada cria vazios preenchidos por fluido que atuam como inclusões dielétricas.

Camada 3 -- Vazio crustal ao equipamento: A laje de fundação de concreto, rack de equipamentos e chassis do equipamento formam um terceiro capacitor -- um que o grupo de Kyoto não considerou, porque não estão preocupados com salas de escuta.

Nós estamos.

O campo eletrostático gerado por uma perturbação ionosférica de 42 TECU chega à superfície terrestre como um campo elétrico de variação lenta com amplitude de aproximadamente 0,3 V/m. Esse campo penetra a fundação do edifício e se acopla ao equipamento por meio do plano de terra do rack.

A corrente resultante é pequena: aproximadamente 3 pA por metro quadrado de área de superfície do chassis do equipamento. Mas ela é coerente em todo o sistema, e ocorre na banda de 0,5-5 Hz. Ela não adiciona um novo componente de frequência ao ruído do sistema. Ela modula fontes de ruído de baixa frequência existentes variando a tensão de referência do terra do rack de equipamentos em taxas sub-hertz.

É por isso que o efeito se manifesta como aumento de THD+N e não como um tom de interferência discreto. A via solar-sísmica não injeta um sinal. Ela desestabiliza a referência contra a qual todos os sinais são medidos.

### 4. ANÁLISE DE CORRELAÇÃO

Para verificar que a degradação observada de THD+N estava causalmente ligada à via de acoplamento ionosférico-crustal, realizamos uma análise de correlação cruzada entre quatro séries temporais: TEC, componente H do magnetômetro, aceleração vertical do sismômetro e THD+N do áudio.

A correlação cruzada TEC-sismômetro atingiu pico no atraso de +47 minutos, consistente com o modelo de capacitor atmosférico.

A correlação cruzada sismômetro-THD+N atingiu pico no atraso de +12 segundos -- o tempo para uma vibração mecânica a 2 Hz se propagar pela fundação do edifício.

A correlação cruzada TEC-THD+N atingiu pico no atraso de +48 minutos -- a soma do atraso de propagação atmosférica (47 min) e do atraso de propagação da fundação (12 s), confirmando a via completa: ionosfera! a equipamentos! cadeia de sinal.

Repetimos essa análise em 23 eventos geomagnéticos menores registrados nos 18 meses anteriores. O atraso TEC-para-sismômetro de 47 minutos foi consistente em todos os eventos (média 46,8 min, dp 3,2 min). A degradação de THD+N escalou linearmente com o delta de TEC: 0,009 dB por TECU.

### 5. MITIGAÇÃO

A via de degradação de áudio solar-sísmica tem dois componentes: a interferência magnética direta (instantânea, 0,15 dB para o evento de 19 de janeiro) e o acoplamento ionosférico-crustal (atrasado, 0,25 dB). Diferentes estratégias de mitigação são necessárias para cada.

O componente magnético direto é abordado por blindagem convencional. Nossos produtos da linha Equinox reduzem esse componente em aproximadamente 18 dB.

O componente de acoplamento crustal é mais desafiador porque entra no sistema por baixo, pela fundação do edifício, como vibração mecânica. A blindagem eletromagnética é ineficaz contra vibração. A mitigação deve ser mecânica.

A Plataforma de Desacoplamento Sísmico da Equatorial Audio (SDP-1) aborda essa via por meio de um sistema de isolamento de três estágios: laje de granito de 200 kg sobre isoladores pneumáticos, sanduíche de amortecimento de camada restringida e laço de retroalimentação de isolamento ativo.

Durante o evento de 19 de janeiro, o componente de acoplamento crustal da degradação de THD+N foi reduzido de 0,25 dB para 0,015 dB: uma redução de 94%.

O sistema combinado (blindagem da linha Equinox + plataforma SDP-1) reduziu a degradação total de áudio de 19 de janeiro de

0,4 dB para 0,025 dB -- abaixo da incerteza de medição da maioria dos analisadores de áudio comerciais.

## 6. DEPENDÊNCIA DA LATITUDE

A via de degradação de áudio solar-sísmica é dependente da latitude por dois mecanismos.

Primeiro, a resposta de TEC ionosférico a erupções solares varia com a latitude. As maiores perturbações de TEC ocorrem na anomalia de ionização equatorial (EIA).

Segundo, a condutividade crustal e a densidade de fraturas variam com o contexto tectônico. Quito, localizada na margem ocidental da placa sul-americana sobre a placa Nazca em subducção, assenta sobre uma das crostas mais fraturadas e saturadas de fluido na Terra.

Notamos, no entanto, que o evento de 19 de janeiro foi apenas G4. O Evento de Carrington de 1859 foi estimado em G5+. Um evento de classe Carrington produziria excursões de TEC superiores a 200 TECU e, pelo nosso modelo de escala linear, degradação de áudio superior a 1,8 dB -- audível em condições de escuta silenciosa. O intervalo de recorrência para eventos de classe Carrington é estimado em 100-200 anos. Recomendamos preparação.

## 7. CONCLUSÃO

O modelo da Universidade de Kyoto de acoplamento eletrostático ionosférico-crustal fornece o elo perdido entre atividade solar e vibração mecânica no ambiente construído. Demonstramos que essa via de acoplamento é também um contribuinte mensurável para a degradação da cadeia de sinal de áudio durante tempestades geomagnéticas.

A via de degradação de áudio solar-sísmica opera com um atraso de 47 minutos desde a perturbação ionosférica até a vibração no rack de equipamentos. O efeito é pequeno (0,009 dB por TECU), consistente em 24 eventos observados e reduzível em 94% usando a Plataforma de Desacoplamento Sísmico da Equatorial Audio.

A crosta terrestre é um capacitor. A ionosfera é a outra placa. O Sol é a fonte de tensão. E seu rack de equipamentos está assentado sobre o dielétrico.

Isto não é uma metáfora. É um mecanismo físico medido, publicado e reproduzível. Se você ouviu algo estranho em 19 de janeiro de 2026 -- você não estava imaginando. Você estava ouvindo o Sol, conduzido através da Terra, chegando ao seu rack de equipamentos a 106 metros por segundo. Nós registramos. Os dados estão neste artigo.

## REFERÊNCIAS

- [1] A. Mizuno, M. Kao, K. Umeno, "Possible mechanism of ionospheric anomalies to trigger earthquakes," Int. J. Plasma Environ. Sci. Technol., 2026.
- [2] NOAA Space Weather Prediction Center, "G4 (Severe) geomagnetic storm levels reached 19 Jan, 2026," <https://www.swpc.noaa.gov/news>, 2026.
- [3] ESA, "ESA monitoring January 2026 space weather event," [https://www.esa.int/Space\\_Safety](https://www.esa.int/Space_Safety), 2026.
- [4] "Can solar storms trigger earthquakes? Scientists propose surprising link," ScienceDaily, 24 Feb 2026.
- [5] M. Ferro, R. Flux, B. Impedance, "Interação de erupções solares com caminhos de sinal audiófilos," J. Equatorial Audio Sci., vol. 3, no. 1, 2022.
- [6] M. Ferro et al., "O sistema equatorial audio completo: uma abordagem integrada à neutralidade magnética," J. Equatorial Audio Sci., vol. 5, no. 1, 2024.
- [7] K. Umeno, entrevista, Live Science, fev 2026: "Não estamos alegando que erupções solares geram tensão tectônica. Nosso argumento é sobre timing, não energia."
- [8] T. Lay and T. C. Wallace, Modern Global Seismology, Academic Press, 1995.
- [9] R. L. McPherron, "Magnetospheric substorms," Rev. Geophys., vol. 17, no. 4, pp. 657-681, 1979.
- [10] M. C. Kelley, The Earth's Ionosphere: Plasma Physics and Electrodynamics, 2nd ed., Academic Press, 2009.
- [11] D. Hammershoi and H. Moller, "Sound transmission to and within the human ear canal," J. Acoust. Soc. Am., vol. 100, no. 1, pp. 408-427, 1996.
- [12] E. R. Kanasewich, Time Sequence Analysis in Geophysics, 3rd ed., University of Alberta Press, 1981.
- [13] "Powerful geomagnetic storm hits Earth: what the 2026 magnetic storm means," Science Times, 21 Mar 2026.
- [14] ISO 8569:1996, Vibração e choque mecânico -- Medição e avaliação de vibração de choque em edifícios.