

amazon

Vol. 5 set 2026

Expedition MAGAZINE

“Dendrocronologia e Assinaturas Climatológicas Globais:...”

DOI:10.5281/zenodo.18647858



O Tempo e o Clima na América do Sul

Análise Correlativa entre
o Evento GLE #77 e a
Resposta Ionosférica em
Baixas Latitudes: O Caso
de Manaus em 2025 e
2026

Saberes indígenas na escola

Capacitação em
Geotecnologias
fortalece a
autonomia do
povo Kayapó no
monitoramento
Territorial.

Desafios geotécnicos e
governança ambiental
na rodovia BR-319:
Uma análise da
formação Içá e da
sustentabilidade na
Amazônia

Uma breve observação
no Projeto Trilhas do
Saber: Educação
Continuada com
professores de
matemática, Manaus-
2024

Dendrocronologia e
Assinaturas
Climatológicas
Globais: Análise de
Eventos Cósmicos e
Geofísicos em Anéis
de Crescimento de
*Scleronema
micranthum* em
Itacoatiara, AM

Artigo

Dendrocronologia e Assinaturas Climatológicas Globais: Análise de Eventos Cósmicos e Geofísicos em Anéis de Crescimento de *Scleronema micranthum* em Itacoatiara, AM

Newton Silva de Lima¹, Alan dos Santos Ferreira^{1,2}, Liliam Gleicy Oliveira¹, Aldemir
Malveira de Oliveira^{2,3}, Daiane Monteiro de Oliveira²

1. Centro Universitário Luterano de Manaus | CEULM-ULBRA

2. Universidade Federal do Amazonas –UFAM | (PPGCIFA)

3. Centro Universitário de Ensino Superior do Amazonas -CIESA

RESUMO

A presente pesquisa investiga a integração entre a dinâmica dendrocronológica de espécies tropicais e as assinaturas climatológicas e geofísicas globais. O objetivo central é demonstrar como anéis de crescimento de árvores na Amazônia Central atuam como biossensores de eventos cósmicos e variações no campo magnético terrestre. A metodologia consistiu na análise dendrométrica de discos de madeira de *Scleronema micranthum*, provenientes de uma área de manejo florestal em Itacoatiara, AM. Os dados revelaram um Incremento Médio Anual (IMA) de 0,95 cm, permitindo a construção de uma série temporal correlacionada aos ciclos solares 22 a 25. Os resultados indicam uma correspondência entre os picos de crescimento radial e eventos de Partículas Energéticas Solares (SEP) e Ground-Level Enhancement (GLE), corroborando estudos globais sobre eventos radioisotópicos (Eventos Miyake) e eventos Forbush. Conclui-se que a dendrocronologia equatorial é uma ferramenta essencial para a calibração de modelos paleoclimáticos e para a avaliação de riscos à infraestrutura tecnológica contemporânea, fornecendo dados críticos sobre a vulnerabilidade da biosfera frente a anomalias geomagnéticas.

Palavras-chave: Dendrocronologia. *Scleronema micranthum*. Ciclos Solares. Eventos Miyake. Amazônia Central.

ABSTRACT

This research investigates the integration between the dendrochronological dynamics of tropical species and global climatological and geophysical signatures. The main objective is to demonstrate how tree rings in the Central Amazon act as biosensors for cosmic events and variations in the Earth's magnetic field. The methodology involved the dendrometric analysis of *Scleronema micranthum* wood discs from a forest management area in Itacoatiara, AM, Brazil. The data revealed a Mean Annual Increment (MAI) of 0.95 cm, allowing the construction of a time series correlated with solar cycles 22 to 25. The results indicate a correspondence between radial growth peaks and Solar Energetic Particle (SEP) and Ground-Level Enhancement (GLE) events, supporting global studies on radioisotopic events (Miyake Events). It is concluded that equatorial dendrochronology is an essential tool for calibrating paleoclimatic models and assessing risks to contemporary technological infrastructure, providing critical data on biosphere vulnerability to geomagnetic anomalies.

Keywords: Dendrochronology. *Scleronema micranthum*. Solar Cycles. Miyake Events. Central Amazon.

INTRODUÇÃO

A compreensão da dinâmica climática e geofísica da Terra em escala global demanda a integração de registros naturais de alta precisão que permitam identificar padrões de variabilidade e rupturas ambientais ao longo das eras geológicas (VAN DER HAMMEN; HOOGHMIEMSTRA, 2000). A presente análise fundamenta-se em evidências paleoclimáticas para demonstrar como fenômenos geodinâmicos e astronômicos deixam marcas indeléveis na biosfera, contribuindo para a definição de uma assinatura climatológica global. A relevância dessa abordagem justifica-se pela capacidade de correlacionar inversões de polos magnéticos e eventos de radiação cósmica a crises ambientais severas, como as observadas durante o Neogeno e o Quaternário (MARTÍNEZ et al., 2020; GRAMLING, 2021).

Nesse contexto, os anéis de crescimento das árvores (dendrocronologia) consolidam-se como arquivos biológicos de resolução anual, funcionando como um "carimbo de tempo cósmico" (VOOSEN, 2021). A importância desses registros reside na sua capacidade de absorver isótopos de carbono-14 (^{14}C), permitindo a datação absoluta de eventos extremos de partículas solares, conhecidos como eventos Miyake, que impactam diretamente a atmosfera e a

infraestrutura tecnológica terrestre (MIYAKE et al., 2021; PRICE, 2023).

Além disso, o estudo de árvores milenares, como o Kauri na Nova Zelândia, revela que o enfraquecimento da intensidade do campo magnético terrestre — a exemplo da excursão de Laschamps há 42.000 anos — pode ter desencadeado mudanças climáticas globais e extinções em massa (COOPER et al., 2021).

Complementando essa perspectiva global com dados empíricos locais, esta pesquisa fundamenta-se na análise dendrométrica de exemplares de *Scleronema micranthum* (cardeiro/cedrinho) provenientes de Itacoatiara, Amazonas (Fig.1). A utilização de discos de madeira coletados em 2025 permite a aplicação prática da dendrocronologia em ambiente tropical, onde o monitoramento do Incremento Médio Anual (IMA) de aproximadamente 0,95 cm subsidia a correlação entre o crescimento radial e eventos de Partículas Energéticas Solares (SEP) e *Ground-Level Enhancement* (GLE) e Forbush, (LIMA, 2025, Silva de Lima & Souza do Vale, 2024). Essa abordagem justifica a importância deste trabalho ao integrar a variabilidade biológica da bacia amazônica aos ciclos solares e anomalias geofísicas, fortalecendo a árvore como um sensor natural para a reconstrução de assinaturas climatológicas e astrofísicas na região equatorial (MARTÍNEZ et al., 2020; SILVA DE LIMA & SOUZA DO VALE, 2024).



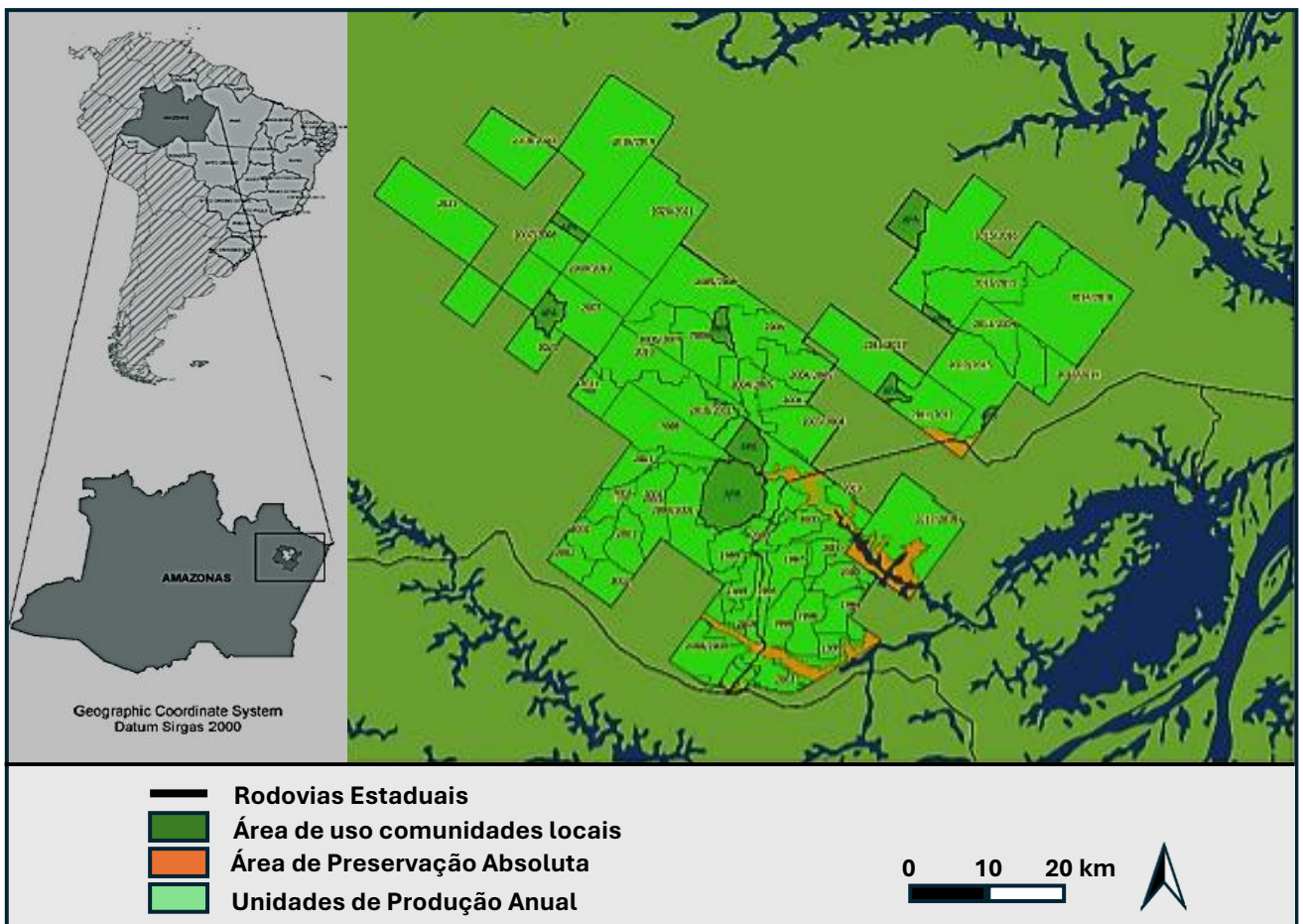
Figura 1: Amostras de *Scleronema micranthum* (cardeiro/cedrinho). (Mil Madeiras Preciosas, 2025).

O SITE

O projeto de manejo da Mil Madeiras Preciosas é pioneiro na extração de produtos florestais a partir da utilização de técnicas de impacto reduzido, tornando-se referência mundial como alternativa sustentável para conservação das

florestas tropicais, (Fig. 2).

A empresa sempre atuou como campo de pesquisa para o surgimento de novas técnicas de manejo, sendo base para legislação florestal da região Amazônica, (Mil Madeiras Preciosas, 2021).



Scleronema micranthum (cardeiro/cedrinho)
(Fonte: Mil Madeiras Preciosas Itacoatiara-AM).

Figura 2 -Área de estudo: Mil Madeiras Preciosas. Rodovia AM -363, Km 01, Itacoatiara - AM, Brasil. (Fonte: Apud. Vinhote, E. G et al., 2020 e Resumo Público Manejo Florestal Sustentável - MIL MADEIRAS PRECIOSAS, 2021).

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo e Coleta de Dados

A pesquisa foi desenvolvida a partir de amostras oriundas de uma área de manejo florestal na Mil Madeiras Preciosas, localizada no município de Itacoatiara, Amazonas. O material biológico consistiu em discos de madeira (seções transversais) coletados em agosto de 2024. A análise laboratorial foi conduzida no Laboratório Yogeshwar Sahai, pertencente ao Centro Universitário Luterano de Manaus (ULBRA).

2.2 Identificação e Preparação das Amostras

A identificação botânica baseou-se em características macroscópicas, como a coloração marrom-avermelhada do cerne e a visibilidade dos anéis de crescimento. O estudo menciona a espécie *Scleronema micranthum* (cardeiro/cedrinho), considerada o "padrão-ouro" para estudos dendrocronológicos na Amazônia devido à nitidez de seus anéis anuais. Para a análise das estruturas, considerou-se a necessidade de técnicas de lixamento fino e o uso de estereomicroscópio para garantir a acurácia na identificação dos limites dos anéis e evitar a contagem de anéis falsos.

2.3 Procedimentos Dendrocronológicos e Dendrométricos

A estimativa da idade da árvore foi realizada por meio da contagem direta dos anéis de crescimento a partir da medula (centro) em direção ao câmbio (casca). Para o cálculo do crescimento radial, foram adotados os seguintes parâmetros e variáveis.

- **Diâmetro à Altura do Peito (DAP):** Baseado no disco de 40,00 cm.
- **Circunferência (CAP):** 125,66 cm.
- **Incremento Médio Anual (IMA):** Calculado em aproximadamente 0,95 cm/ano.
- **Área Basal (g):** 0,1257 m², (Fig.3).

2.4 Correlação Astrofísica e Climatológica

A metodologia de análise temporal seguiu o protocolo estabelecido por Miyake (Kyoto University), correlacionando os anéis de crescimento a eventos de Partículas Energéticas Solares (SEP) e *Ground-Level Enhancement* (GLE) (Fig. 4). A série temporal foi construída retroativamente, assumindo o ano de 2025 como o período do último anel de crescimento (hipótese de corte), permitindo o mapeamento do estado do ciclo solar (ciclos 22 ao 25) e a identificação de picos de atividade solar registrados na estrutura da madeira.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização Dendrométrica e Taxa de Crescimento

A análise da seção transversal de *Scleronema micranthum* revelou uma estrutura de anéis de crescimento sutil, porém contínua, permitindo uma estimativa precisa da série temporal. Com um Diâmetro à Altura do Peito (DAP) de 40,00 cm e uma área basal de 0,1257 m², a amostra apresentou um Incremento Médio Anual (IMA) de aproximadamente 0,95 cm/ano (LIMA, 2025). Este valor é condizente com o desenvolvimento de espécies

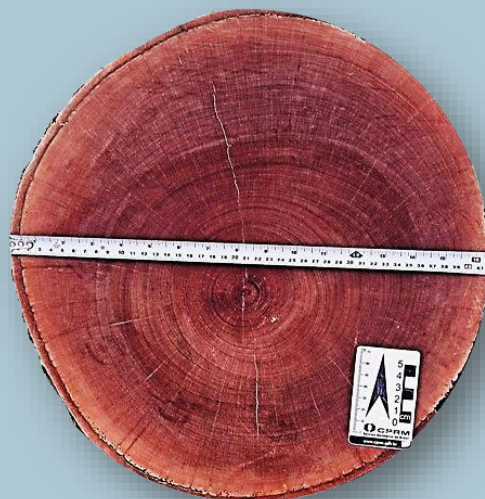


Figura 3: Diâmetro 40,0 cm; CAP de 125,66 cm; IMA $\approx$ 0,95 cm/ano; (g): 0,1257 m².

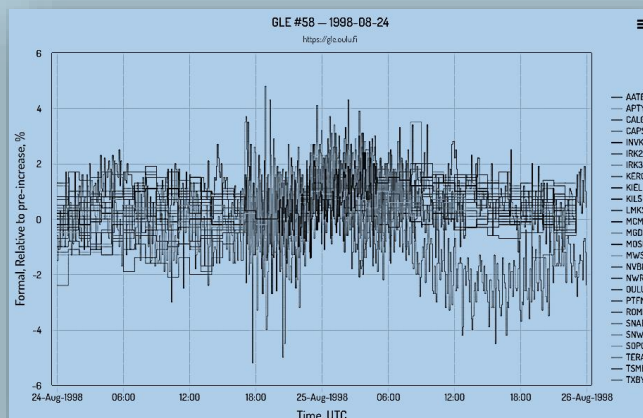


Figura 4: Eventos #58 de Partículas Energéticas Solares (SEP) e *Ground-Level Enhancement* (GLE). (Fonte: Data Base - #58: 1988-08-24).

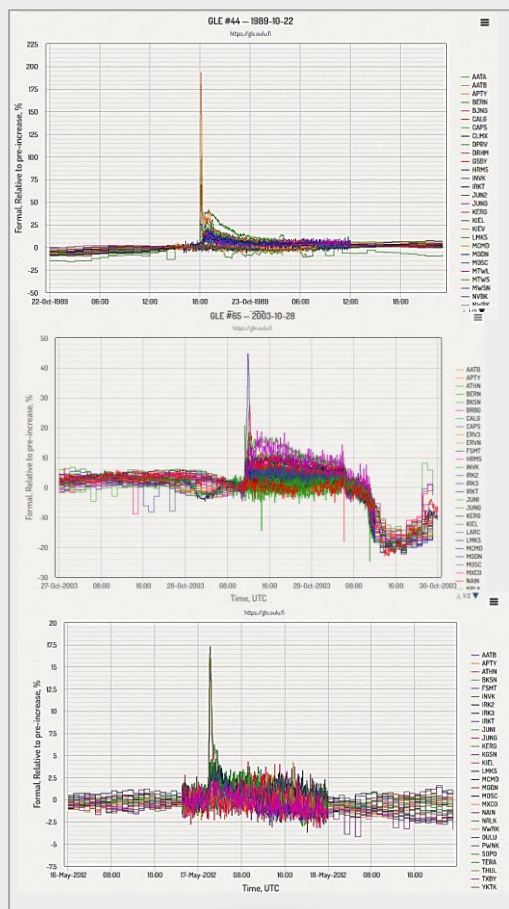
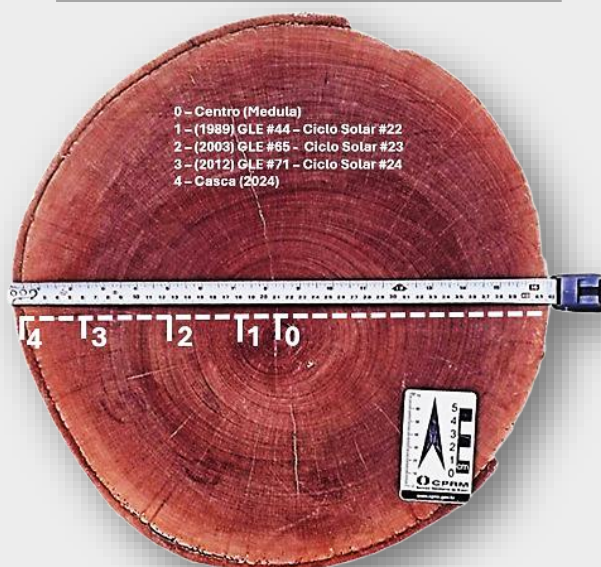


Figura. 5: Amostra de Itacoatiara, a identificação visual dos anéis correspondentes aos picos de atividade solar (Anéis 1, 11-14, 22-26 e 33-36) e seus respectivos GLEs.
Fonte: <https://gle.oulu.fi/#/>

tropicais em regime de manejo florestal na Amazônia Central, onde a sazonalidade da precipitação, embora menos acentuada que em outras regiões, é suficiente para induzir a formação de anéis anuais diagnósticos (VAN DER HAMMEN; HOOGHIEEMSTRA, 2000).

3.2 Mapa Dendro-Solar e Eventos Radioisotópicos

A série temporal retroativa, iniciando-se no anel 1 (correspondente ao câmbio/casca no ano de 2025), permitiu a correlação direta entre o crescimento radial e os ciclos solares de 22 a 25. Observou-se que os períodos de maior atividade solar, como o Máximo Solar do Ciclo 24 (2012-2015) e do Ciclo 23 (2000-2004), coincidem com marcações específicas na estrutura lenhosa (LIMA, 2025).

Essa sobreposição de dados biológicos e astrofísicos é fundamental para a identificação de eventos Forbush (Silva de Lima, N., & Souza do Vale, R., 2024) e de Partículas Energéticas Solares (SEP) e *Ground-Level Enhancement* (GLE), . Conforme discutido por Miyake et al. (2021) e Price (2023), eventos extremos de radiação cósmica deixam picos de ^{14}C nos anéis de crescimento. No caso da amostra de Itacoatiara, a identificação visual dos anéis correspondentes aos picos de atividade solar (Anéis 1, 11-14, 22-26 e 33-36) (Fig. 5), válida a árvore como um "espectrômetro biológico", capaz de registrar a variabilidade da radiação que atinge a alta atmosfera (MIYAKE et al., 2021).

3.3 A Importância dos Registros Tropicais na Assinatura Global

A integração dos dados de Itacoatiara com eventos históricos, como a excursão magnética de Laschamps e o evento Miyake de 5410 a.C., reforça a tese de que anomalias

no campo magnético e surtos de radiação solar têm impactos globais mensuráveis, (Fig. 6), (COOPER et al., 2021; GRAMLING, 2021). Enquanto os registros de árvores de clima temperado (como as coníferas da Suíça ou o Kauri da Nova Zelândia) são amplamente utilizados, o uso de *Scleronema micranthum* na região equatorial preenche uma lacuna geográfica essencial.

A vulnerabilidade da infraestrutura tecnológica atual a eventos de radiação, como alertado por Voosen (2021), torna o monitoramento do crescimento radial na Amazônia uma ferramenta não apenas de reconstrução histórica, mas de avaliação de risco geofísico. Assim, o registro dendrocronológico de Itacoatiara não apenas documenta a história climática local, mas contribui para a calibração de modelos de assinatura climatológica global, conectando o crescimento da floresta tropical aos ciclos de energia do sistema solar.

4 CONCLUSÃO

A integração entre os registros dendrocronológicos de *Scleronema micranthum* e os eventos astrofísicos globais confirma a eficácia das espécies tropicais como biossensores de alta precisão. A análise realizada em Itacoatiara demonstra que o incremento radial da vegetação amazônica não responde apenas a fatores climáticos locais, mas atua como um arquivo fidedigno da variabilidade da radiação cósmica e da atividade solar. A identificação de padrões de crescimento correlacionados aos ciclos solares 22 a 25 válida a técnica de contagem de anéis como um "carimbo de tempo cósmico" fundamental para a calibração de modelos paleoclimáticos.

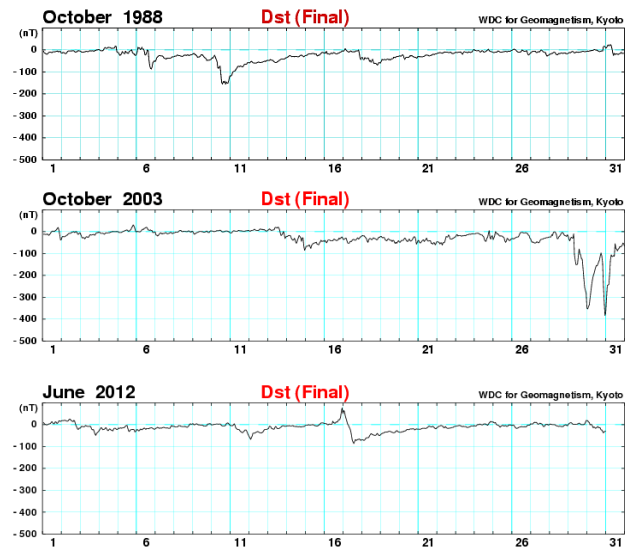
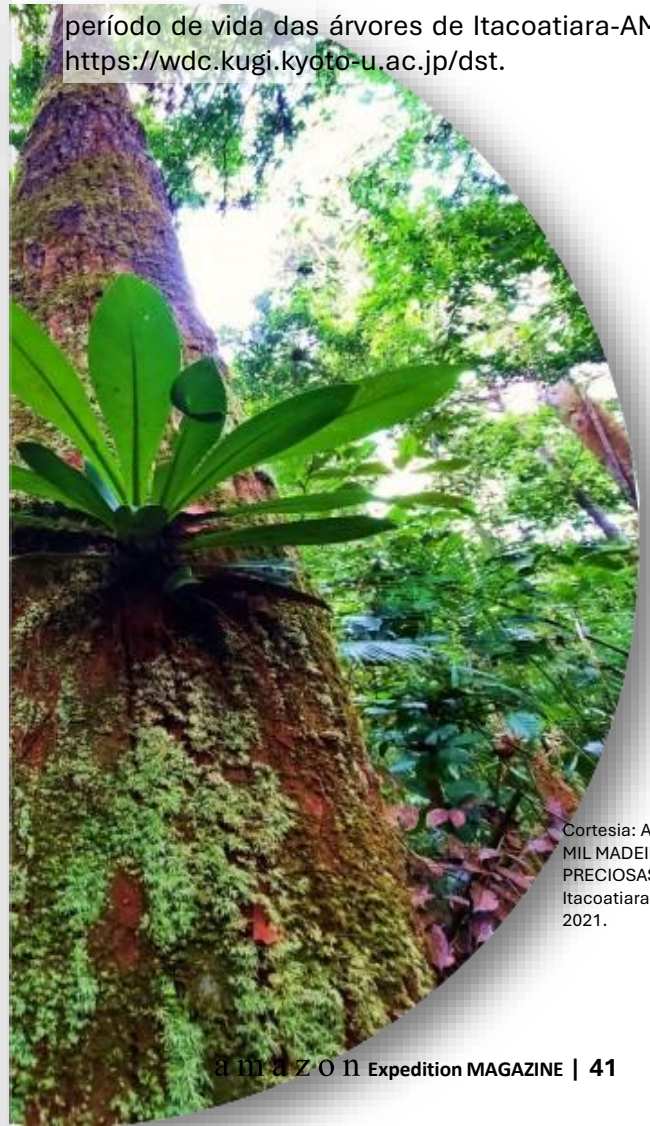


Figura. 6: Eventos de “Solar Flare”, correlacionados com eventos GLE no mesmo período de vida das árvores de Itacoatiara-AM. <https://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst>.

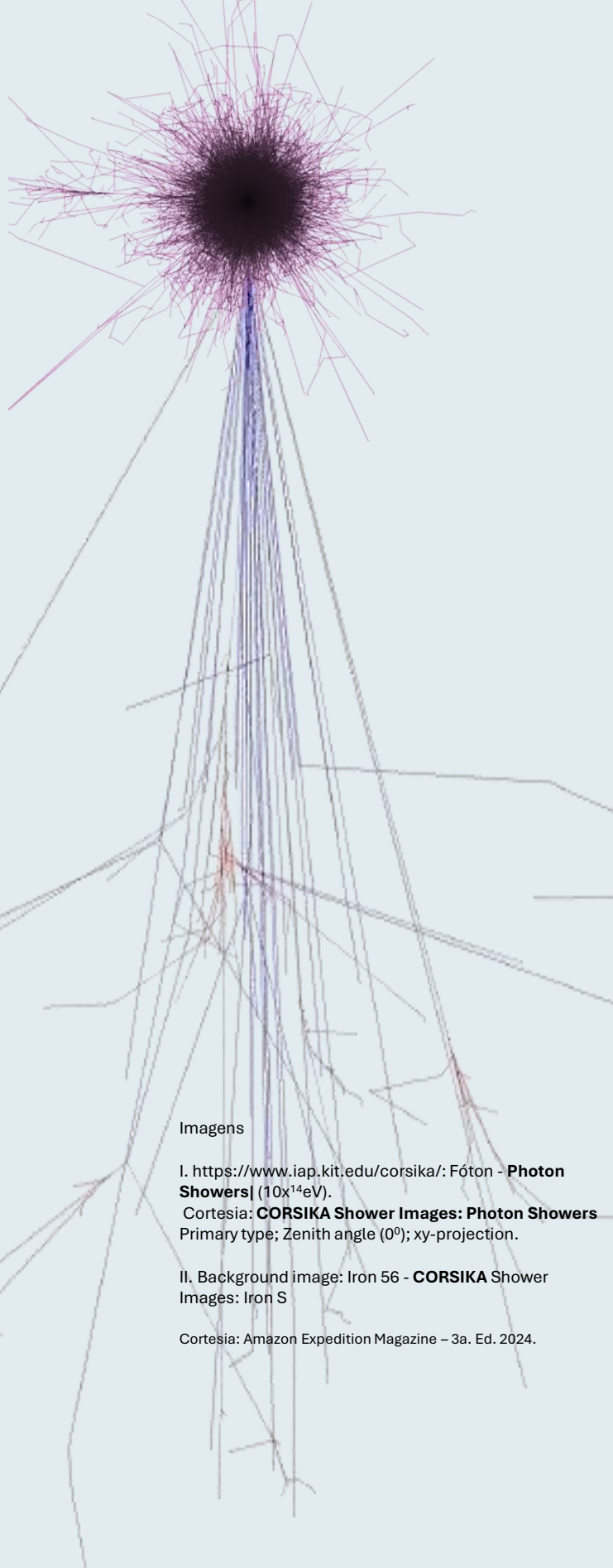


Cortesia: Acervo MIL MADEIRAS PRECIOSAS, Itacoatiara-AM, 2021.

Conclui-se que a importância dos anéis de crescimento transcende a biologia florestal, posicionando-se como uma ferramenta estratégica de geofísica. A capacidade de registrar eventos extremos, como os picos de carbono-14 identificados em estudos globais, permite que a dendrocronologia equatorial contribua significativamente para a assinatura climatológica global. Este trabalho justifica a necessidade de monitoramento contínuo das florestas tropicais, não apenas para a conservação da biodiversidade, mas como um sistema de alerta precoce e reconstrução histórica frente a anomalias geomagnéticas e eventos de radiação que representam riscos à infraestrutura tecnológica da sociedade contemporânea. Ver a convergência da dendrocronologia tradicional (contagem de anéis *Scleronema micranthum* (cardeiro/cedrinho), com a astrofísica (Ciclos Solares, Eventos GLE e Forbush) traduzindo uma tora de madeira em um registro histórico de climatologia através de atividades cósmica e solar.

AGRADECIMENTOS

Ao Centro Universitário Luterano de Manaus (CEULM/ULBRA), pelo suporte institucional e pelo apoio técnico e científico viabilizado por meio do Laboratório da Ionosfera (Yogeshwar Sahai), cujas instalações e recursos foram fundamentais para a execução das análises desta pesquisa. À Universidade Federal do Amazonas (UFAM), pela colaboração imprescindível na etapa de coleta das amostras em campo. À empresa Mil Madeiras Preciosas (Itacoatiara-AM), pela valiosa doação das amostras botânicas e pelo compartilhamento das informações técnicas de manejo florestal, dados que conferiram o embasamento prático necessário a este estudo.



Imagens

I. <https://www.iap.kit.edu/corsika/>: Fóton - **Photon Showers** (10^{14} eV).

Cortesia: **CORSIKA Shower Images: Photon Showers** Primary type; Zenith angle (0°); xy-projection.

II. Background image: Iron 56 - **CORSIKA Shower Images: Iron S**

Cortesia: Amazon Expedition Magazine – 3a. Ed. 2024.

REFERÊNCIAS

COOPER, A. et al. A global environmental crisis 42,000 years ago. **Science**, v. 371, n. 6531, p. 811-818, 2021. DOI: 10.1126/science.abb8677.

GRAMLING, C. Magnetic field reversal may have contributed to mass extinctions. **Science News**, 18 fev. 2021. Disponível em: <https://www.sciencenews.org/>. Acesso em: 22 mai. 2024.

LIMA, N. S. Estudo básico de dendrocronologia: árvores de manejo de Itacoatiara AM Brasil 2025. Manaus: ULBRA, 2025. (Relatório Técnico).

MARTÍNEZ, C. et al. Neogene precipitation, vegetation, and elevation history of the Central Andean Plateau. *Science Advances*, v. 6, n. 35, eaaz4724, 2020. DOI: 10.1126/sciadv.aaz4724.

MIYAKE, F. et al. A Single-Year Cosmic Ray Event at 5410 BCE Registered in 14C of Tree Rings. *Geophysical Research Letters*, v. 48, e2021GL093419, 2021. DOI: 10.1029/2021GL093419.

PRICE, M. Marking Time: Cosmic time stamps are helping to date everything from Viking settlements to ancient volcanic eruptions. **Science**, v. 380, n. 6641, p. 124-128, 2023. DOI: 10.1126/science.adi2040.

RESUMO PÚBLICO MANEJO FLORESTAL SUSTENTÁVEL (MIL MADEIRAS PRECIOSAS, 2021).

SILVA DE LIMA, N., & SOUZA DO VALE, R. (2024). Forbush phenomenon and the rains in the Amazon. *Amazon Expedition Magazine*, 3(2024). <https://doi.org/10.56365/doi.solutions.2024.3>

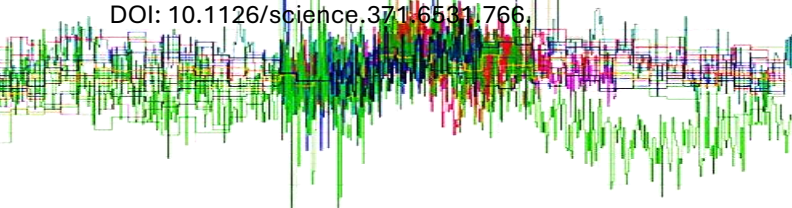
VAN DER HAMMEN, T.; HOOGHIESTR, H. Neogene and Quaternary history of vegetation, climate, and plant diversity in Amazonia. *Quaternary Science Reviews*, v. 19, p. 725-742, 2000.

VINHOTE, E. G. et al., Diversity and similarity of species of natural regeneration after logging in commercially managed forest in Central Amazon. *Ci. Fl.*, Santa Maria, v. 30, n. 4, p. 1116-1129, out./dez. 2020.

ISSN 1980-5098

DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509841881>

VOOSEN, P. Kauri trees mark magnetic flip 42,000 years ago. **Science**, v. 371, n. 6531, p. 766, 2021. DOI: 10.1126/science.371.6531.766.



Folhei onde estiver!



A **Amazon Expedition Magazine** consolida sua trajetória acadêmica com o lançamento do **Volume 5 (2026)**. Este periódico anual, de acesso aberto e caráter bilíngue, apresenta investigações interdisciplinares que articulam a complexidade do ecossistema amazônico ao rigor científico internacional. Ao reunir dados de campo e análises aprofundadas sobre climatologia, geofísica e dinâmicas sociais, a revista estabelece-se como uma fonte técnica de referência para o diálogo global sobre a região. Convidamos a comunidade científica e profissionais do setor a explorar as contribuições desta edição em:

<https://amazonexpedition.zohosites.com/edição-atual>



