



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS I - CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM BACHARELADO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E
AMBIENTAL**

MARIA CLARA DE SÁ CARVALHO

**ESTUDO DAS VARIAÇÕES DA RESSONÂNCIA DE SCHUMANN E SUAS
POSSÍVEIS APLICAÇÕES NA ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL: UMA
REVISÃO DE LITERATURA**

**CAMPINA GRANDE
2023**

MARIA CLARA DE SÁ CARVALHO

**ESTUDO DAS VARIAÇÕES DA RESSONÂNCIA DE SCHUMANN E SUAS
POSSÍVEIS APLICAÇÕES NA ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL: UMA
REVISÃO DE LITERATURA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Área de concentração: Ciências Exatas da Terra.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Celso Perin Bertoni.

**CAMPINA GRANDE
2023**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

C331e Carvalho, Maria Clara de Sa.

Estudo das variações da ressonância de Schumann e suas possíveis aplicações na Engenharia Sanitária e Ambiental [manuscrito] : uma revisão de literatura / Maria Clara de Sa Carvalho. - 2023.

30 p.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2024.

"Orientação : Prof. Dr. Fernando Celso Perin Bertoni, Coordenação do Curso de Física - CCT. "

1. Meio ambiente. 2. Ressonância de Schumann. 3. Ionosfera. 4. Ondas eletromagnéticas . 5. ELF. I. Título

21. ed. CDD 628

MARIA CLARA DE SÁ CARVALHO

ESTUDO DAS VARIAÇÕES DA RESSONÂNCIA DE SCHUMANN E SUAS POSSÍVEIS
APLICAÇÕES NA ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL: UMA REVISÃO DE
LITERATURA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Área de concentração: Ciências Exatas da Terra.

Aprovada em: 28/11/2023.

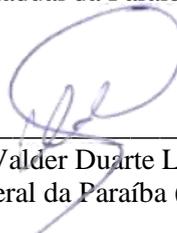
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Fernando Celso Perin Bertoni (Orientador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Profa. Dra. Ruth Silveira do Nascimento
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dr. Valder Duarte Leite
Instituto Federal da Paraíba (IFPB)

Dedico esse trabalho com profundo amor e gratidão à memória do meu querido pai, Cornélio Manoel de Carvalho, cuja sabedoria, amor e encorajamento moldaram a pessoa que sou hoje. Embora ele não esteja fisicamente presente para testemunhar este momento, sei que seu espírito vive em mim e que estaria incrivelmente orgulhoso. À minha mãe, Maria Olinda de Sá, cujo apoio inabalável, paciência e amor incondicional me sustentaram em todos os momentos. Essa dedicação é uma pequena homenagem à imensa gratidão que sinto por ambos. O que alcancei até agora é, em grande parte, resultado do amor, orientação e sacrifício de vocês. Por último, mas definitivamente não menos importante, quero dedicar especialmente ao meu filho, Klaus Sá Ribeiro Carvalho. Sua chegada acrescentou uma profundidade única e imensurável à minha existência. Espero que esse trabalho mostre o meu desejo de criar um mundo melhor para você e para as futuras gerações. Você é uma fonte inesgotável de alegria e uma inspiração constante para mim.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, pela força e sabedoria que me guiaram durante essa jornada.

À minha mãe, Maria, minha inspiração e força motriz. Suas palavras de carinho sempre me incentivaram a buscar a excelência.

Ao meu noivo, Pedro Jaime, pelo apoio e companheirismo. Compartilhando sonhos, desafios e vitórias. Sua presença e encorajamento foram indispensáveis.

A meu irmão, Mir, agradeço pela amizade e pelos momentos de descontração que me ajudaram a manter o equilíbrio nos períodos mais intensos.

Ao meu orientador, Professor Dr. Fernando Celso Perin Bertoni, minha eterna gratidão por sua orientação, paciência e sabedoria. Seu suporte foi essencial para o sucesso desse trabalho.

E, por fim, agradeço a todos os amigos e familiares, pelo suporte incondicional e pelas palavras de incentivo que tanto valorizei durante essa caminhada.

RESUMO

O presente trabalho centra-se no estudo das variações da Ressonância de Schumann (SR) e suas interações, explorando as possíveis implicações práticas para a engenharia sanitária e ambiental. A Ressonância de Schumann é um fenômeno eletromagnético que ocorre na Terra, resultante da interação entre descargas elétricas atmosféricas e a cavidade formada entre a superfície terrestre e a ionosfera. Seu potencial para monitorar e interpretar mudanças ambientais representa uma ferramenta valiosa no cenário atual de crescentes desafios ambientais. Este trabalho visa analisar na literatura uma revisão aprofundada da Ressonância de Schumann e suas implicações teóricas. A pesquisa também procura entender as variações da SR, bem como suas aplicações práticas, com foco especial no âmbito da engenharia ambiental e sanitária. A metodologia empregada foi uma revisão integrativa da literatura realizada no período de abril a novembro de 2023, em bases de dados virtuais que incluíram PubMed, ScienceDirect, IEEE Xplore, entre outras. A amostra final foi composta por 09 estudos considerados fundamentais para a compreensão profunda do tema. A revisão revelou a vastidão de aplicações da Ressonância de Schumann, desde sua influência sobre eventos geofísicos até sua relevância na engenharia sanitária e ambiental. Também se destacou a correlação entre as variações da SR e fenômenos climáticos, com implicações significativas para a previsão e gestão de eventos climáticos extremos, entre outros. Em síntese, o estudo permitiu constatar a importância da teoria da Ressonância de Schumann e suas implicações no meio socioambiental. A pesquisa reforça a necessidade de aprofundar o entendimento deste fenômeno, dada sua potencialidade para influenciar decisões e estratégias em áreas críticas como engenharia sanitária e ambiental, contribuindo assim para soluções mais eficientes e sustentáveis.

Palavras-Chave: ressonância de schumann; ionosfera; ondas eletromagneticas; meio ambiente; ELF.

ABSTRACT

This work focuses on the study of the variations in Schumann Resonance (SR) and its interactions, exploring the possible practical implications for sanitary and environmental engineering. The Schumann Resonance is an electromagnetic phenomenon occurring on Earth, resulting from the interaction between atmospheric electrical discharges and the cavity formed between the Earth's surface and the ionosphere. Its potential to monitor and interpret environmental changes represents a valuable tool in the current scenario of increasing environmental challenges. This work aims to analyze in literature a thorough review of the Schumann Resonance and its theoretical implications. The research also seeks to understand the variations of SR, as well as its practical applications, with a special focus in the field of environmental and sanitary engineering. The methodology employed was an integrative literature review conducted from April to November 2023, in virtual databases including PubMed, ScienceDirect, IEEE Xplore, among others. The final sample comprised 09 studies considered fundamental for a deep understanding of the topic. The review revealed the vastness of applications of the Schumann Resonance, from its influence on geophysical events to its relevance in sanitary and environmental engineering. Also highlighted was the correlation between SR variations and climatic phenomena, with significant implications for the prediction and management of extreme weather events, among others. In summary, the study confirmed the importance of the Schumann Resonance theory and its implications in the socio-environmental field. The research reinforces the need to deepen the understanding of this phenomenon, given its potential to influence decisions and strategies in critical areas such as sanitary and environmental engineering, thus contributing to more efficient and sustainable solutions.

Keywords: schumann resonance; ionosphere; electromagnetic waves; environment; ELF.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figure 1: Fluxograma das etapas para a seleção dos estudos, Campina Grande (PB), Brasil, 202320

Quadro 1: Resultados dos artigos selecionados nas bases de dados, Campinas Grande- Paraíba, Brasil, 202321

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ELF	Frequência Extremamente Baixa
RIL	Revisão Integrativa da Literatura
SR	Ressonância de Schumann

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	HISTÓRICO E FUNDAMENTOS DA RESSONÂNCIA DE SCHUMANN	11
3	VARIAÇÕES DA RESSONÂNCIA DE SCHUMANN	13
3.1	Fatores que influenciam as variações	13
3.2	Impactos e correlações das variações	14
3.3	Benefícios e desafios do estudo das variações	15
4	APLICAÇÕES PRÁTICAS DA RESSONÂNCIA DE SCHUMANN	16
5	METODOLOGIA	18
6	RESULTADOS	21
7	DISCUSSÃO	23
8	CONCLUSÃO	25
	REFERÊNCIAS	27

1 INTRODUÇÃO

Em um mundo crescentemente interconectado pela ciência e a tecnologia, a Ressonância de Schumann (SR) emerge como um tópico de investigação fascinante, mesclando princípios fundamentais da física com aplicações práticas em múltiplas disciplinas. Originada das oscilações eletromagnéticas entre a Terra e a ionosfera, essas frequências ressonância têm encontrado aplicações inovadoras, incluindo na engenharia sanitária e ambiental, onde seu potencial para monitorar e interpretar mudanças ambientais representa uma ferramenta valiosa.

É nesse contexto que a mudança climática, constituindo um dos maiores desafios globais da atualidade, entra em foco. Sendo um problema complexo e de múltiplas dimensões que afeta não apenas o meio ambiente, mas também tem implicações profundas nos setores econômico, político, social e cultural. A mudança climática tornou-se, portanto, o eixo central em torno do qual giram todas as discussões e esforços relacionados ao meio ambiente, influenciando diretamente ou indiretamente diversas áreas de estudo e intervenção. Esse cenário global, reforça a importância de explorar a Ressonância de Schumann como uma ferramenta potencial para entender e mitigar os efeitos da mudança climática.

Trata-se de um fenômeno eletromagnético global gerado pela descarga de raios. Vale ressaltar que os relâmpagos produzem ondas eletromagnéticas que, em uma frequência específica extremamente baixa (ELF), propagam-se pela atmosfera e circulam o planeta (Nickolaenko; Hayakawa, 2014). Atualmente, investigações sobre este fenômeno enfrentam obstáculos, sejam eles de natureza instrumental ou metodológica.

A integração de abordagens interdisciplinares e o desenvolvimento de tecnologias mais avançadas, possibilita vencer essas barreiras (Ondrašková *et al.*, 2018). Nessa linha de pensamento, as variações da SR, quando devidamente interpretadas e aplicadas, têm o poder de transformar nossa abordagem aos desafios ambientais contemporâneos (Williams, 1992; Kułak *et al.*, 2020). O estudo detalhado dessas variações pode fornecer soluções mais eficientes e sustentáveis (Sátori *et al.*, 1996).

Diante disso, o interesse pelo tema, deve-se à magnitude das variações da Ressonância de Schumann ao meio ambiente, o qual pretende-se adotar uma abordagem sistemática e multidimensional. Sendo assim, o presente estudo tem como objetivo analisar na literatura uma revisão aprofundada da Ressonância de Schumann e suas implicações teóricas, bem como, uma análise das suas variações e, finalmente, uma exploração das suas possíveis aplicações práticas, especialmente no âmbito da engenharia. Além de buscar desvendar a potencialidade das variações da SR na engenharia sanitária e ambiental.

2 HISTÓRICO E FUNDAMENTOS DA RESSONÂNCIA DE SCHUMANN

A SR, um fenômeno eletromagnético ressonante que se manifesta na cavidade formada entre a crosta terrestre e as camadas inferiores da ionosfera, tem sua origem na atividade global de raios, conforme descrito por Ogawa *et al.*, (1969). Este fenômeno, foi teorizado inicialmente por Schumann em 1952 e posteriormente medido empiricamente na década de 1960.

A existência da SR foi confirmada pela primeira vez por Balser e Wagner (1962), através de observações experimentais. Até o momento, muitos locais de observação eletromagnética foram estabelecidos em todo o mundo para observar a SR, inclusive na Antártica (a estação ucraniana) e no Círculo Polar Ártico, onde a interferência eletromagnética é baixa (Ando & Hayakawa, 2006; Ando *et al.*, 2005; Chand *et al.*, 2009; Fan *et al.*, 2013; AV Koloskov *et al.*, 2020; OV Koloskov *et al.*, 2022; Kulak *et al.*, 2003; Nickolaenko, 1997; Nickolaenko & Hayakawa, 2014; Ondrášková *et al.*, 2007, 2008; Ouyang, Xiao, *et al.*, 2015; Ouyang *et al.*, 2013; Price & Melnikov, 2004; Rodríguez-Camacho *et al.*, 2022; Rossi *et al.*, 2009; Satori, 1996; Satori & Zieger, 1996; Satori *et al.*, 1996; Sentman, 1987; Sentman & Fraser, 1991; Shvets *et al.*, 2010; Tatsis *et al.*, 2020; Zhou *et al.*, 2013; HAN *et al.*, 2023, p. 1)

Além disso, estudos realizados, como os de Williams (1992), têm demonstrado uma correlação significativa entre o primeiro modo da SR e a temperatura, reforçando a importância deste fenômeno, tornando-a um potencial "termômetro" global. As primeiras observações e estudos da SR revelaram que ela não é apenas um fenômeno intrigante, mas também uma ferramenta valiosa para compreender diversos aspectos do nosso planeta e da interação entre a Terra e sua atmosfera.

Esse conhecimento é de importância fundamental para a compreensão de diversos processos atmosféricos e geofísicos, incluindo a interação entre a atmosfera neutra e a ionosfera, bem como os efeitos do clima espacial nessa dinâmica complexa.

A compreensão desse fenômeno começa com a atmosfera neutra, através da qual ondas eletromagnéticas geradas pelos relâmpagos propagam-se por longas distâncias com pouca atenuação. Sendo composta por várias camadas, cada uma com características distintas que afetam como as ondas eletromagnéticas se propagam. Já na troposfera, camada mais baixa da atmosfera e onde ocorrem os relâmpagos, encontra-se o ponto de partida para a geração das frequências que compõem a SR.

À medida que ascendemos para a estratosfera e a mesosfera, e finalmente alcançamos a ionosfera, a atmosfera torna-se progressivamente ionizada devido à radiação solar. Esta ionização cria uma camada reflexiva para as frequências de ondas extremamente baixas (ELF), que são as responsáveis pela SR.

Conforme descrito por Soler-Ortiz *et al.* (2023), as Ressonâncias Schumann são caracterizadas por um conjunto de frequências na faixa extremamente baixa (ELF), originárias

da atividade elétrica natural na Terra ou em seu ambiente atmosférico. Essas frequências são em grande parte causadas por fenômenos como relâmpagos, as principais fontes dessas ressonâncias. Além disso, o espaço entre a superfície da Terra e a ionosfera condutiva funciona como um guia de ondas fechado, com tamanho variável, onde as dimensões limitadas da Terra permitem que este guia de ondas atue como uma cavidade ressonante para ondas eletromagnéticas na banda ELF.

Quando o comprimento de onda das ondas eletromagnéticas aproxima-se do valor da circunferência terrestre, ocorre a formação de ondas estacionárias dentro da cavidade. Esse fenômeno resulta no aumento da intensidade do campo eletromagnético (EMF) em frequências específicas, como 7.8, conhecida como a frequência fundamental, 14.2 e 21 Hz, conforme relatado por Nickolaenko e Hayakawa (2014). Além disso, é mencionado que a uma frequência de 8 Hz, o comprimento de onda é igual à circunferência da Terra, enquanto que a uma frequência de 32 Hz, o comprimento de onda é cinco vezes menor (Galuk, 2018).

3 VARIAÇÕES DA RESSONÂNCIA DE SCHUMANN

Essas ressonâncias desempenha um importante papel como um indicador eletromagnético natural da Terra. A variação da SR não é um fenômeno estático, mas um que é dinâmico e constantemente influenciado por uma miríade de fatores. Essas variações têm implicações amplas, desde a saúde ambiental até a previsão de fenômenos naturais.

3.1 Fatores que influenciam as variações

As variações na SR são influenciadas por uma série de fatores. Primeiramente, fenômenos naturais como relâmpagos e tempestades desempenham um papel significativo. As descargas atmosféricas, a principal fonte natural da SR, ocorrem principalmente em três áreas de atividade global de tempestades, incluindo América do Sul, África e Sudeste Asiático (Ouyang *et al.*, 2013; Yin *et al.*, 2015).

Estima-se que aproximadamente 2.000 tempestades aconteçam simultaneamente em todo o mundo, gerando cerca de 50 relâmpagos por segundo. Esses relâmpagos produzem ondas eletromagnéticas que, em uma frequência extremamente baixa, circulam o planeta e são manifestadas como SR (Nickolaenko & Hayakawa, 2014).

Os fenômenos atmosféricos, tanto a densidade quanto a distribuição global de relâmpagos, que é influenciada por mudanças climáticas, os padrões meteorológicos e até mesmo atividades vulcânicas, também desempenham um papel importante na modulação da SR. Mezentsev *et al.*, (2023) observaram um aumento anômalo e amplo na potência do sinal de rádio ELF e um aumento na intensidade da ressonância global durante a erupção do vulcão Tonga em 15 de janeiro de 2022.

As principais descobertas incluíram um aumento de quatro vezes na intensidade da ressonância global simultaneamente na França, Itália, Rússia e Japão. Este aumento na intensidade da SR foi atribuído a uma fonte ELF compacta localizada perto do vulcão Tonga durante a fase principal e final da erupção, com a anomalia vulcânica da SR emergindo da enorme quantidade de relâmpagos na nuvem em erupção (Nickolaenko *et al.*, 2022).

Além disso, fatores antropogênicos, também podem ter impactos sutis nas características da ressonância. A pesquisa conduzida por Tritakis *et al.*, (2021) revelou a presença de distúrbios artificiais, como disparos de armas, operação de veículos e interferências de rádio, além de vibrações mecânicas, nas gravações da SR. Este estudo sublinha a importância de distinguir esses ruídos antropogênicos dos sinais geofísicos genuínos. A identificação e exclusão de tais sinais artificiais das séries temporais de dados

brutos são essenciais, levando à proposta de desenvolver modelos específicos para ruídos antropogênicos comuns em diferentes locais de observação.

Com a finalidade de capturar e estudar essas ressonâncias, os cientistas utilizam uma variedade de instrumentos. Os magnetômetros medem as variações do campo magnético da Terra, enquanto as antenas de ELF capturam as frequências de ondas correspondentes. Vale ressaltar que esses dispositivos são sensíveis e precisam ser cuidadosamente localizados para minimizar o ruído eletromagnético de origem humana, tais como emissões industriais e poluição, que pode distorcer as leituras.

3.2 Impactos e correlações das variações

Ao longo dos anos, com um crescente acervo de dados observacionais, houve um aumento significativo no interesse pelas variações sazonais e interanuais nos parâmetros das Ressonâncias de Schumann. Nesse contexto, Williams já em 1992, destacou-se ao estabelecer uma correlação entre a variabilidade anual nas amplitudes do primeiro modo da SR e as flutuações na temperatura atmosférica. Esta observação, mencionada recentemente por Han *et al.*, (2023), ressalta a importância contínua da pesquisa em SR e seu impacto na compreensão das interações climáticas globais.

Conforme identificado no estudo de Han *et al.*, (2023), existe uma notável variação sazonal nos parâmetros das SR, caracterizada por uma intensidade mais elevada durante o verão e reduzida no inverno. Interessantemente, a frequência das SR mostra-se inversamente proporcional à sua intensidade, alcançando os valores mais baixos no verão e os mais altos no inverno. O estudo aponta que a principal causa dessa variação anual na intensidade da SR é a alteração sazonal na intensidade da atividade atmosférica, enquanto a mudança sazonal na frequência está majoritariamente associada à migração da localização das fontes de raios.

Adicionalmente, Han *et al.*, (2023) destacam que a variação interanual na intensidade e frequência das ressonâncias em cada um de seus modos está sincronizada com a atividade solar, seguindo um ciclo de aproximadamente 11 anos. O padrão de variação de longo prazo na intensidade da SR é influenciado pelas mudanças na temperatura global, com destaque para o impacto do fenômeno super El Niño, que desempenha um papel significativo no controle dessa variação.

Além disso, as Ressonâncias de Schumann estão relacionadas a fenômenos naturais como relâmpagos, terremotos e o clima da Terra. O desenvolvimento teórico e a pesquisa sobre as SR têm evoluído ao longo de mais de um século, e avanços recentes na tecnologia de

detecção eletromagnética e nas capacidades de processamento digital têm permitido explorar mais profundamente essas conexões (Liu *et al.* 2023).

3.3 Benefícios e desafios do estudo das variações

Os benefícios do estudo detalhado das variações da SR são vastos. Compreender essas variações pode ajudar os cientistas a prever e compreender melhor fenômenos naturais, desde tempestades até terremotos. Além disso, pode servir como uma ferramenta valiosa para monitorar as mudanças climáticas e ambientais.

No entanto, o estudo das variações da SR também apresenta desafios. A necessidade de equipamentos precisos e avançados para detectar e interpretar variações, a influência de fatores antropogênicos, como poluição e atividades industriais e a necessidade de uma abordagem multidisciplinar tornam este campo de estudo complexo e desafiador.

Em contrapartida, o estudo dessas variações é especialmente relevante para a engenharia sanitária e ambiental, pois pode ser utilizado para monitorar mudanças ambientais em grande escala. Por exemplo, a análise da SR pode ajudar a identificar padrões climáticos em evolução ou a presença de poluentes na atmosfera. Além disso, as variações na SR têm sido estudadas em relação à atividade sísmica, o que poderia levar a melhores sistemas de alerta precoce para terremotos e tsunamis.

4 APLICAÇÕES PRÁTICAS DA RESSONÂNCIA DE SCHUMANN

A SR tem sido objeto de pesquisa por décadas, evidenciando seu significado não apenas como um fenômeno físico, mas também por suas implicações práticas em diversos setores da sociedade. A amplitude e profundidade dessas implicações continuam a crescer à medida que novos estudos surgem, ampliando nossa compreensão sobre a SR e suas múltiplas aplicações.

Um dos campos emergentes é a detecção de eventos geofísicos, como tsunamis. Por exemplo, estudos têm explorado a relação entre anomalias na SR e atividades sísmicas. As características da anomalia da Ressonância de Schumann estão relacionadas com a magnitude de terremotos. Quando a magnitude do terremoto é grande o suficiente (magnitude $> 6,0$), a anomalia SR aparece alguns dias a uma semana antes e depois do terremoto, e a anomalia SR aparece várias horas antes de outras anomalias ionosféricas antes do terremoto (Hayakawa *et al.*, 2005; Hayakawa *et al.*, 2021; Zhou *et al.*, 2013).

Estudos recentes, destacam essa capacidade da SR em fornecer sinais antecipados a eventos potencialmente catastróficos, salvando inúmeras vidas e reduzindo danos materiais. Como os de Hayakawa *et al.*, (2021), têm comprovado as anomalias na SR em relação a terremotos. Por exemplo, uma análise de dados da SR de uma estação no México detectou anomalias na frequência e amplitude das três primeiras harmônicas da ressonância em um período de 21 dias, abrangendo 15 dias antes e 5 dias após 12 terremotos de magnitude superior a 5 na costa do Pacífico Mexicano (Sierra Figueiredo *et al.*, 2020).

Outros pesquisadores também têm investigado, sugerindo que esses eventos massivos podem ser detectados mais rapidamente por meio de observações da SR, possibilitando alertas mais eficientes. Estudos como o de Liu *et al.* (2023), confirmaram que as pesquisa de anomalias de terremotos-SR tem grande potencial no campo do monitoramento eletromagnético e pode fornecer novas ideias e métodos para previsão de terremotos.

De acordo com Cherry (2003), os sinais SR também podem afetar a fisiologia, a psicologia e o comportamento dos organismos, organismos esses que são particularmente sensíveis a mudanças nos campos eletromagnéticos de baixa frequência, especialmente aos sinais SR. Essas relações foram mencionadas recentemente pelo estudo de Liu *et al.*, (2023):

Estudos recentes mostraram que campos magnéticos fracos na banda SR têm um certo efeito protetor nos corações de camundongos sob condições de pressão Elhaleal *et al.*, (2019). Com base em métodos estatísticos de análise epidemiológica e registros contemporâneos de SR, Fdez-Arroyabe *et al.*, (2020) descobriram que a amplitude de potência da SR tem efeito sobre doenças cardiovasculares em humanos. Além disso, Fdez-Arroyabe *et al.*, (2021) forneceram um glossário de termos relacionados aos efeitos biológicos eletromagnéticos atmosféricos, o que é importante para facilitar a

pesquisa sobre este tema. Colin Price *et al.*, (2021) forneceram evidências de uma ligação entre campos ELF naturais e campos ELF encontrados em muitos organismos, incluindo humanos, propondo a noção de acoplamento direto ou indireto de sistemas eletromagnéticos atmosféricos a organismos (LIU *et al.*, 2023, p. 10).

Além disso, é importante observar que as flutuações no campo magnético, causadas por eventos atmosféricos, podem exercer influência sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas, bem como afetar suas respostas a outros fatores ambientais. Para ilustrar, estudos realizados por Sukhov *et al.*, (2021) demonstraram que quando o trigo e as ervilhas são expostos a um campo magnético ELF com frequência SR, suas respostas fotossintéticas são afetadas em graus variados, dependendo da espécie de planta e do tempo de exposição.

Vale ressaltar que o estudo da SR e dos mecanismos biológicos é considerado controverso, sendo necessário identificar os mecanismos e vias dos campos eletromagnéticos ELF que afetam a saúde biológica, o que ainda não foi totalmente estudado (Danho, 2019).

Além das aplicações já mencionadas, a SR tem mostrado relevância em áreas aparentemente desconexas, como a saúde e a psicologia. König *et al.*, (1981) estabelecem uma relação entre a SR e a saúde humana, indicando que essas variações podem influenciar processos biológicos, desde ritmos circadianos até a cognição. Além disso, Saroka e Persinger (2015) examinaram a relação da SR com estados emocionais, indicando uma ligação possível entre as variações da SR e o bem-estar psicológico. Persinger (2014), propôs que a SR pode influenciar a atividade cerebral e, conseqüentemente, experiências subjetivas. Embora essa teoria ainda esteja em estágios iniciais de pesquisa, ela abre novos horizontes para entender a interação entre o ambiente natural e a mente humana.

5 METODOLOGIA

Trata-se de uma Revisão Integrativa da Literatura (RIL), abordagem qualitativa, realizada de abril a novembro de 2023. Este método visa garantir a síntese de produções científicas publicadas em uma determinada área de conhecimento e tem como finalidade garantir o acesso rápido e importantes resultados de pesquisas, estimulando o pensamento crítico reflexivo da temática a ser estudada (Dornelles *et al.*, 2022).

De acordo com Duarte *et al.*, (2009) a abordagem qualitativa diferencia-se da pesquisa quantitativa por não empregar um instrumento estático com base para análise de dados e do processo de análise de um problema, esse método não pretende numerar ou quantificar unidade.

O estudo foi elaborado de acordo com as seguintes etapas: elaboração da pergunta norteadora; definição das bases de dados; coleta de dados; análise crítica dos estudos incluídos; discussão dos resultados. Tendo como perguntas norteadoras: De que maneira as variações da Ressonância de Schumann podem ser empregadas como indicadores de mudanças ambientais? E como esse entendimento pode ser catalisador de inovações na engenharia sanitária e ambiental no contexto atual?

A coleta de dados para este trabalho foi meticulosamente planejada e executada ao longo de sete meses. O principal desafio enfrentado foi a natureza ainda emergente da área de estudo em torno das aplicações práticas para as variações da Ressonância de Schumann. Muitos dos trabalhos e estudos disponíveis datam de décadas atrás, com uma relativa escassez de estudos voltados para engenharia, refletindo a necessidade de mais pesquisas contemporâneas no campo.

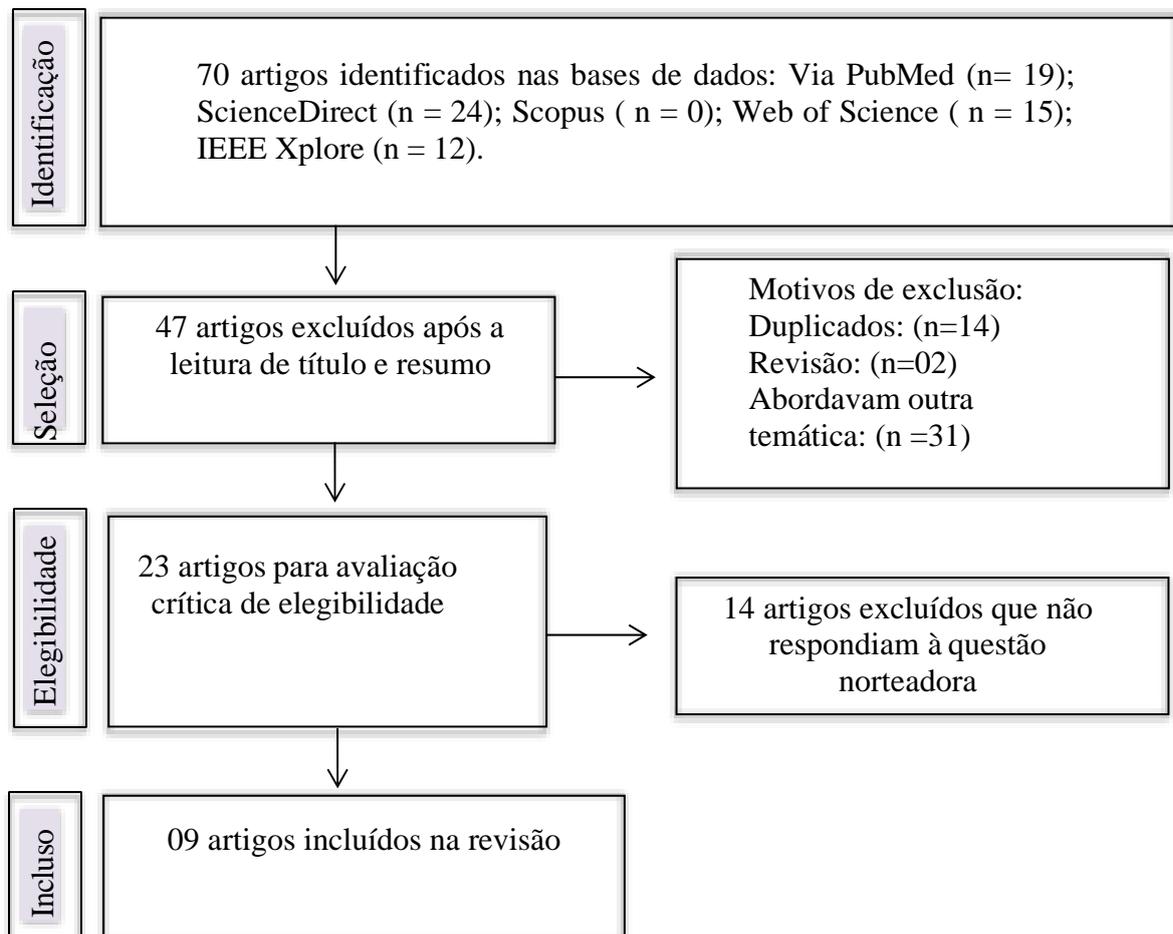
Para abordar essa lacuna, foi necessário adotar uma estratégia de pesquisa ampla, consultando várias bases de dados acadêmicas reconhecidas internacionalmente, como PubMed, ScienceDirect, Scopus, IEEE Xplore e Web of Science. As palavras-chave utilizadas para a pesquisa foram: "Ressonância de Schumann"; "Variações da Ressonância de Schumann"; "Ionosfera"; "Ondas eletromagnéticas"; e "Meio ambiente". Estas palavras-chave foram escolhidas com base na sua relevância para o tema central e na sua frequência de ocorrência nas pesquisas preliminares.

Os critérios de inclusão foram: artigos primários que tratam diretamente do tema proposto, especialmente aqueles que abordam variações específicas da SR e suas aplicações práticas. Fez-se imprescindível o recorte temporal para abranger publicações dos anos 1950 a 2023, a fim de garantir uma compreensão abrangente da evolução do campo ao longo do tempo.

Foram excluídos da revisão resumos, revisões, editoriais, opiniões/comentários, artigos

incompletos, duplicatas de estudos, trabalhos de conclusão de curso, dissertações, teses, e outros materiais que não se enquadrassem como artigos de pesquisa primária. Além disso, foram excluídos estudos que não condiziam diretamente com a temática em questão e que não atendiam à pergunta norteadora do presente estudo. Não houve restrições quanto ao idioma, a fim de abranger um espectro mais amplo de estudos internacionais.

Figure 1: Fluxograma das etapas para a seleção dos estudos, Campina Grande (PB), Brasil, 2023



Fonte: Elaborada pela autora, 2023.

O processo de coleta de dados também envolveu uma análise criteriosa do conteúdo de cada estudo. Dada a complexidade e a natureza interdisciplinar da Ressonância de Schumann, foi essencial garantir que cada artigo fosse avaliado quanto à sua relevância, metodologia, conclusões e contribuições para a área. Em várias ocasiões, identificou-se que, apesar da Ressonância de Schumann ser um fenômeno amplamente reconhecido e estudado, ainda há áreas cinzentas e questões sem resposta, reforçando a importância de estudos futuros e a relevância dessa pesquisa.

6 RESULTADOS

A amostra desta revisão foi composta por 9 estudos após aplicação dos critérios de inclusão e exclusão dos artigos selecionados, representados abaixo.

Quadro 1: Resultados dos artigos selecionados nas bases de dados, Campinas Grande- Paraíba, Brasil, 2023

Nº	TÍTULO	AUTORES/ ANO DE PUBLICAÇÃO	TIPO DE ESTUDO	RESULTADOS/ CONCLUSÃO
01	Ressonância de Schumann para Iniciantes: Fundamentos da Ressonância Eletromagnética Global na Cavidade Terra-Ionosfera	Nickolaenko, A. P., & Hayakawa, M. (2014)	Monografia	A obra é fundamental para entender os conceitos básicos da Ressonância de Schumann e como ela se manifesta na cavidade Terra-ionosfera, fornecendo uma compreensão abrangente. Esse trabalho serviu como base fundamental para o entendimento da SR, permitindo entender suas características intrínsecas e seu papel como um indicador de mudanças ambientais.
02	The Schumann resonance: a global tropical thermometer.	Williams, E. (1992)	Artigo de pesquisa	O trabalho correlaciona a SR com a temperatura global, sugerindo que ela pode atuar como um termômetro global. Reforçando a relevância desse fenômeno eletromagnético na monitorização e previsão de mudanças climáticas.
03	Anomalias na Ressonância de Schumann Possivelmente Associadas a Grandes Terremotos no México.	Sierra Figueredo <i>et al.</i> , (2021)	Artigo de pesquisa	O estudo examina as correlações entre as anomalias na frequência e amplitude das três primeiras harmônicas da Ressonância Schumann (SR) em relação a terremotos, utilizando dados de uma estação no México, entre um período abrangente de junho de 2013 a maio de 2018.
04	Avanços Recentes e Desafios nas Observações e Pesquisas da Ressonância de Schumann	Liu <i>et al.</i> , (2023)	Artigo de pesquisa	A pesquisa foca em diversos aspectos das ressonâncias Schumann (SRs), ressaltando o estudo dessas ressonâncias ao longo de mais de um século, e como o desenvolvimento teórico das SR tem sido uma importante área de estudo. A pesquisa também abrange uma ampla coleção de trabalhos que refletem os avanços recentes em estudos experimentais sobre a variabilidade das SRs na Terra-ionosfera, bem como pesquisas sobre as SRs em outros contextos. Esses estudos são cruciais para entender melhor a influência de

				eventos atmosféricos e terrestres nas ressonâncias eletromagnéticas globais e podem ter aplicações significativas no monitoramento ambiental e na previsão de fenômenos naturais.
05	Impacto Observacional e Modelagem da Erupção do Vulcão Tonga na Ressonância de Schumann	Mezentsev <i>et al.</i> , (2023)	Artigo de pesquisa	Esse trabalho concentram-se na análise do impacto da degradação pelo vulcão Tonga em 15 de janeiro de 2022 sobre as ressonâncias Schumann (SRs). Esse evento vulcânico foi notável por sua atividade de raios extremamente alta na pluma de chuvas atmosféricas, que excedeu significativamente os níveis de atividade de relâmpagos globais.
06	Evidência de uma ligação entre a atividade global de raios e o vapor de água na troposfera superior	Price, (2000)	Artigo de pesquisa	Price discute a relação entre a atividade global de relâmpagos e o vapor d'água na troposfera superior, o que pode influenciar as variações da SR. Essa correlação demonstra a interconexão dos fenômenos atmosféricos e a relevância da SR na predição e monitorização de eventos meteorológicos.
07	O circuito elétrico atmosférico global, atividade solar e mudanças climáticas.	Rycroft; Israelsson; Price, (2000)	Artigo de pesquisa	O estudo aborda o circuito elétrico atmosférico global e sua relação com a atividade solar e as mudanças climáticas, com implicações para a SR. Ou seja, a influência do sol e suas variações na SR é um aspecto que não pode ser negligenciado ao avaliar as implicações da SR.
08	Variações sazonais e interanuais na Ressonância de Schumann observadas nas redes eletromagnéticas ELF na China.	Han <i>et al.</i> , (2023)	Artigo de pesquisa	Em um contexto regional, esse estudo investiga as variações sazonais e interanuais na ressonância Schumann. Essas observações são feitas utilizando redes eletromagnéticas de frequência extremamente baixa (ELF) na China, o que sugere um foco na análise de dados atmosféricos e geofísicos para entender melhor as características e mudanças na ressonância Schumann em uma escala global, devido a vários fatores, tais como, a variação interanual da frequência e intensidade dessas variações, que são sincronizada com a atividade solar, por um período de 11 anos. Enquanto o padrão de variação de longo prazo da intensidade é controlado pelas mudanças de temperatura global, especialmente o fenômeno super El Niño.
09	Sobre a Ressonância Eletromagnética Amortecida no Sistema Terra-Ar-Ionosfera.	Schumann, (1952)	Artigo de pesquisa	Esse é o estudo fundamental que apresentou e teorizou a Ressonância de Schumann pela primeira vez. Sendo assim, a pedra angular desse trabalho. Ao apresentar e teorizar a Ressonância de Schumann pela primeira vez, Schumann estabeleceu o caminho para todas as pesquisas subsequentes sobre o tema.

Fonte: Elaborada pela autora, 2023

7 DISCUSSÃO

Durante a revisão da literatura sobre as Variações da SR, foi perceptível o entrelaçamento entre os fenômenos físicos e suas ramificações na engenharia ambiental e sanitária. As fontes analisadas trouxeram um consenso sobre a definição básica da SR como um indicador sensível das interações eletromagnéticas entre a Terra e a ionosfera. Interessantemente, muitos estudos apontaram para a influência de fatores externos, tanto naturais quanto resultantes da atividade humana, nas variações dessas frequências de ressonância.

Em comparação com outras pesquisas existentes sobre o tema, há uma convergência nos achados que reforçam a SR como um potencial indicador de mudanças climáticas e perturbações ambientais. As principais vantagens deste estudo incluem uma abordagem interdisciplinar e a integração de conhecimentos da física à engenharia.

Visto que a Ressonância de Schumann, com suas variações intrincadas, tem o potencial de revolucionar o campo dessas duas áreas. Por exemplo, ao detectar mudanças nas frequências ressonantes, os engenheiros podem antecipar mudanças atmosféricas significativas, como tempestades severas ou alterações nos padrões climáticos.

Na engenharia ambiental, a capacidade de monitorar e interpretar essas mudanças ambientais através da SR pode ser fundamental na criação de soluções sustentáveis para desafios contemporâneos. Além de indicar mudanças de temperatura, também foi comprovado que o SR está relacionado ao fenômeno El Niño e Oscilação Sul (ENSO), que tem um impacto significativo no clima da Terra Sători *et al.*, (2009), mencionado no estudo de Liu *et al.*, (2023).

Ainda de acordo com os avanços e desafios nas observações e pesquisas da ressonância de Schumann, Liu *et al.*, (2023) reafirma que o ENSO afeta a circulação atmosférica e, portanto, leva a anomalias climáticas significativas em escala global, como fortes chuvas persistentes, inundações, secas generalizadas e fortes tempestades. Esse conhecimento é imprescindível para engenharia, em paralelo com a necessidade de infraestruturas específicas, como sistemas de drenagem ou tratamento de água e demais intervenções proativas na mitigação dos impactos causa-reação.

Pesquisas como as de Williams *et al.*, (2021) e Bozóki *et al.*, (2022) citadas no estudo de Liu *et al.*, (2023) analisaram dois grandes eventos do El Niño em 1997–1998 e 2015 – 2016. Os resultados mostram que a intensidade da SR e a atividade dos relâmpagos foram significativamente aumentadas durante a transição da fase fria para a quente. Assim, a intensidade da SR pode ser um precursor da ocorrência dos máximos da temperatura global da

superfície.

Além disso, em áreas propensas a terremotos, os estudos de Mezentsev *et al.*, (2023) e Liu *et al.*, (2023), indicam que as anomalias do SR podem ser um fenômeno observado antes de terremotos terrestres e que podem estar relacionadas às mudanças na ionosfera, embora a relação exata entre essas características e sua capacidade de previsão de terremotos ainda exija mais investigação e estudo. Essas sugestões sugerem um campo interessante de pesquisa para entender melhor a relação entre características atmosféricas e atividade sísmica.

Os dados coletados demonstram a profundidade e amplitude do impacto da Ressonância de Schumann em diversos sistemas terrestres. Em comparação com estudos anteriores, esse trabalho destaca o potencial da SR não apenas como um fenômeno físico isolado, mas também como um indicador potente de mudanças ambientais. As evidências sugerem que as variações na SR podem ser indicativas de perturbações ambientais, sejam elas devido a fenômenos naturais ou antropogênicos. No entanto, o que realmente se destaca é a possibilidade ainda pouco explorada de aplicar esse conhecimento no campo da engenharia sanitária e ambiental.

Outra observação pertinente é a interdisciplinaridade da SR. Sua aplicação não se limita à física ou à ciência atmosférica. Por exemplo, a relação entre a atividade global de relâmpagos e o vapor d'água na troposfera superior, discutida por Price (2000), tem implicações significativas para a meteorologia e a climatologia. Da mesma forma, o trabalho de Rycroft *et al.*, (2000) ressalta a conexão entre o circuito elétrico atmosférico global, a atividade solar e as mudanças climáticas, abrindo portas para mais pesquisas.

Embora este estudo tenha se esforçado para fornecer uma revisão abrangente, existem limitações intrínsecas. Primeiramente, a abordagem metodológica, focada em uma revisão de literatura, pode não capturar todos os estudos relevantes ou as nuances de cada pesquisa individual. Além disso, dada a complexidade da Ressonância de Schumann e sua interação com variáveis ambientais, é possível que existam fatores ainda não explorados ou entendidos. Por fim, as áreas de possíveis aplicações da SR na engenharia sanitária e ambiental exigem mais pesquisas empíricas, com experimentos práticos, para validar as teorias propostas.

8 CONCLUSÃO

Esse trabalho consolidou a importância das variações da Ressonância de Schumann no campo da engenharia sanitária e ambiental, explorando como esse fenômeno natural pode ser aplicado para melhorar e inovar práticas e metodologias nesses setores.

Dessa forma, em síntese os estudos permitiram constatar que a engenharia sanitária e ambiental se beneficia diretamente dessa pesquisa, pois permite o desenvolvimento de métodos mais eficazes de monitoramento e mitigação dos impactos ambientais. A capacidade de detectar mudanças no campo eletromagnético da Terra pode levar a melhores estratégias para a gestão de recursos hídricos, controles de qualidade e prevenção. Essa capacidade de prever e responder a mudanças ambientais é fundamental para a sustentabilidade e para a saúde das populações.

Por meio dessa análise, tem-se também a possibilidade de expandir os sistemas avançados de monitoramento para fenômenos atmosféricos e geofísicos, os quais são essenciais para a prevenção de desastres naturais. Estudos como os de Williams (1992) e Liu *et al.*, (2023) revelam que a SR pode servir como um indicador confiável para alterações climáticas e atividades sísmicas, respectivamente. Tais sistemas de alerta precoce seriam inestimáveis para a engenharia sanitária e ambiental, capacitando profissionais a responder prontamente a emergências.

Além disso, a análise das variações da SR pode ajudar na avaliação dos impactos ambientais de grandes projetos de infraestrutura e desenvolvimento urbano, fornecendo informações críticas para planejamento e design ambiental. Essa aplicação tem um potencial significativo para otimizar a relação entre as atividades humanas e o ambiente, buscando um desenvolvimento mais sustentável.

As pesquisas revisadas também sugerem a possibilidade de usar a SR como uma ferramenta para o monitoramento biológico e ecológico, abrindo caminho para novas técnicas de biovigilância.

Com base nessa revisão e na integração desses conceitos na engenharia sanitária e ambiental, pode-se fornecer soluções inovadoras para alguns dos desafios ambientais mais prementes de hoje. No entanto, para alcançar esse potencial, é indispensável investir em mais pesquisas, garantindo que as implicações e aplicações da SR sejam totalmente compreendidas e aproveitadas.

Ademais, a instrumentação especializada e a análise cuidadosa das variações na SR podem desempenhar um papel importante na engenharia ambiental e sanitária, por ser uma

ferramenta multifacetada com possíveis aplicações práticas significativas, contribuindo para a capacidade de viver em harmonia com o nosso ambiente e de mitigar os impactos das mudanças climáticas.

Em conclusão, as variações da SR detêm um potencial significativo para serem aplicadas na engenharia sanitária e ambiental. A integração desses conhecimentos na prática pode levar a avanços significativos em termos de monitoramento ambiental, planejamento urbano, gestão de desastres e conservação da biodiversidade. Para que isso se torne uma realidade, é necessário um esforço contínuo na interdisciplinaridade desse estudo e na colaboração entre cientistas, engenheiros e ambientalistas, para aprimorar as técnicas existentes e explorar novas possibilidades que a SR oferece para o bem-estar do planeta e de sua biodiversidade.

REFERÊNCIAS

- CHERRY, Neil. Schumann resonances, a plausible biophysical mechanism for the effects of the sun on human health. **Nat. Perigos**, v. 26, p. 279–331, 2002.
- CHERRY, Neil. Human Intelligence: The Brain, an Electromagnetic System Synchronized by the Schumann Resonance Signal. **Med. Hipóteses**, v. 60, p. 843–844, 2003.
- DANHO, S.; SCHOELLHORN, W.; ACLAN, M. Innovative Technical Implementation of Schumann Resonances and their Influence on Organisms and Biological Cells. Conferência IOP. **Ser. Matéria. Ciência. Eng.**, v. 564, 012081, 2019.
- DE ABREU OLIVEIRA, Vinicius; GARCIA, Patrick Rogger. Development of free software for processing magnetotelluric data in geophysics. **Editora Científica Digital**, 2021. Disponível em: <https://www.editoracientifica.com.br/articles/code/211206883>. Acesso em: 17 out. 2023.
- ELHALEL, G.; PREÇO, C.; FIXLER, D.; SHAINBERG, A. Cardioprotection against stress conditions due to weak magnetic fields in the Schumann resonance band. **Ciência.**, v. 9, 1645, 2019.
- FDEZ-ARROYABE, Pablo *et al.* Schumann MRI and cardiovascular hospital admission in the Granada area, Spain: an event coincidence analysis approach. **Ciência. Meio Ambiente Total.**, v. 705, 135813, 2020.
- FDEZ-ARROYABE, Pablo *et al.* Glossary on Atmospheric Electricity and Its Effects on Biology. **Int. J. Biometeorol.**, v. 65, p. 5–29, 2021. Disponível em: <https://orbit.dtu.dk/en/publications/glossary-on-atmospheric-electricity-and-its-effects-on-biology>. Acesso em: 18 jun. 2023
- GAZQUEZ, José Antonio *et al.* Applied engineering Using Schumann Resonance for Earthquake Monitoring. **Applied Sciences**, v. 7, n. 11, 1113, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/app7111113>. Acesso em: 18.07.2023.
- HAMOUDA, Samir. Ahmed. Schumann Resonances and Their Potential Applications: a Review Article. **Mordovia University Bulletin**, vol. 27, no. 4, 2017. Disponível em: https://www.academia.edu/88486929/Schumann_Resonances_and_Their_Potential_Applications_a_Review_Article. Acesso em: 23.05.2023.
- HAN, Bing *et al.* Seasonal and interannual variations in Schumann resonance observed in ELF electromagnetic networks in China. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**. doi:10.1029/2023JD038602. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2023JD038602>. Acesso em: 30.11.2023.
- HUNTING, Ellard *et al.* Challenges in Coupling Atmospheric Electricity with Biological Systems. **Int. J. Biometeorol.**, v. 65, p. 45–58, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00484-020-01960-7>. Acesso em: 30 out. 2023.
- LIU, Jinlai *et al.* Advances and Challenges in Schumann Resonance Observations and Research. **Remote Sensing**, v. 15, n. 14, 2023. Disponível em: Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs15143557>. Acesso em: 18.11.2023.

MEZENTSEV, Andrey *at al.* Observational and Modeling Impact of the Tonga Volcano Eruption on Schumann Resonance. **Journal Of Geophysical Research: Atmospheres**. 2023 Apr 5;128(7). Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2022JD037841>. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1029/2022JD037841>. Acesso em: 05 out. 2023.

NICKOLAENKO, A.; HAYAKAWA, M. Schumann Resonance for Beginners: Fundamentals of Global Electromagnetic Resonance in the Earth-Ionosphere Cavity. **Tóquio: Springer**, 2014.

ONDRÁŠKOVÁ, Adriena; ŠEVČÍK, Sebastián; KOSTECKÝ, Pavel. Reduction of Schumann resonance frequencies and changes in effective ray areas towards the minimum of the 2008–2009 solar cycle. (2011). **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**. 73. 534-543. 10.1016/j.jastp.2010.11.013. Disponível em: <https://journal.geo.sav.sk/cgg/article/view/24>. Acesso em: 05 out. 2023.

OSIPOV, A., KUVSHINOV, A., & AVDEEV, D. Modeling and Observations of Global Electromagnetic Resonances in the Earth-Ionosphere Cavity. **Radio Science**, 50(3), 239–248, 2015. DOI: [10.1002/2014RS005600]. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/2014RS005600>.

OUYANG, X.Y.; ZHANG, X.M.; SHEN, X.H.; MIAO, Y.Q. Background characteristics of Schumann resonance observed in Yunnan, southwest China. **J. Geofísica.**, v. 56, p. 1937–1944, 2013.

PERSINGER, MA. The presence felt in experimental environments: implications for the masculine and feminine concept of self. **Jornal de Exploração e Pesquisa da Consciência**, 5(4), 273–290, 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/262414791_The_Sensed_Presence_within_Experimental_Settings_Implications_for_the_Male_and_Female_Concept_of_Self. Acesso: 22.08.2023.

PRICE, Colin. Evidence for a link between global lightning activity and upper-tropospheric water vapor. **Nature**, 406(6793), 290-293. (2000). Disponível em: <https://doi.org/10.1038/35018543>. Acesso em: 05 out. 2023.

PRICE, Colin; WILLIAMS, Earle; ELHALEL, Gal; SENTMAN, Dave. Natural ELF Fields in the Atmosphere and Living Organisms. **Int. J. Biometeorol.**, v. 65, p. 85–92, 2021. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32034466/>. Acesso em: 05 out. 2023.

RODRÍGUEZ-CAMACHO, Jesus., *et al.* Four-Year Study of Regular Schumann Resonance Variations Using Ground Station Magnetometers in the Sierra Nevada. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, 127, e2021JD036051. (2022). Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2021JD036051>. Acesso em: 05 out. 2023.

RYCROFT, MJ; ISRAELSSON, S.; PRICE, C. The global atmospheric electrical circuit, solar activity and climate change. **Revista de Física Atmosférica e Solar-Terrestre**, v. 17-18, pág. 1563–1576, 2000. doi: 10.1016/S1364-6826(00)00112-7.

SATORI, G.; ZIEGER, B. El Nino-Related Southern Oscillation of Global Lightning Activity. **Geofísica. Res. Vamos.**, v. 26, p. 1365–1368, 1999.

SATORI, Gabriela.; WILLIAMS, Earle.; LEMPERGER, István. Variability of global lightning

activity on the ENSO timescale. **Atmos. Res.**, v. 91, p. 500–507, 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S016980950800224X>. Acesso em: 05 out. 2023.

SCHUMANN, WO. Damped Electromagnetic Resonance in the Earth-Air-Ionosphere System. 1952.

SIERRA FIGUEREDO, Paulo *et al.* Schumann resonance anomalies possibly associated with large earthquakes in Mexico. **Indiano Journal of Physcs** 95 , 1959–1966 (2021). Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12648-020-01865-6>. Acesso em: 05 out. 2023.

SOLER-ORTIZ, Manuel *et al.* Quantification of the variation of Schumann Resonances over time through statistical differences. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, (2023) Volume 246, 106058. ISSN: 1364-6826. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2023.106058>. Acesso em: 11 out. 2023.

SUKHOV, Vladimir *et al.* Influence of Magnetic Field with Schumann Resonance Frequencies on Photosynthetic Light Reactions in Wheat and Pea. **Cells**, v. 10, 149, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4409/10/1/149>. Acesso em: 11 out. 2023.

SURKOV, V. V.; PILIPENKO, V. A.; SHIOKAWA, K. Geomagnetic Effect of Atmospheric Acoustic Resonance Excited by Earthquakes and Volcanic Eruptions. **Journal of Geophysical Research: Space Physics**, v. 128, n. 10, 2023. DOI: 10.1029/2023JA031872.

TATSIS, Giorgos. *et al.* Study of variations in Schumann resonance parameters measured in a southern Mediterranean environment. **Science of the Total Environment**, [S.l.], v. 715, p. 136926, 1 maio 2020. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.136926. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136926>. Acesso em: 21 set. 2023.

WANG, C.; DESER, C.; YU, J.-Y.; DINEZIO, P.; CLEMENT, A. El Nino and Southern Oscillation (ENSO): A Review. On the coral reefs of the Eastern Tropical Pacific. GLYNN, P.W.; MANZELLO, D.P.; ENOCHS, I.C., Eds.; *Recifes de Coral do Mundo*. **Springer: Dordrecht, Holanda**, 2017; Volume 8. ISBN 978-94-017-7498-7.

WILLIAMS, Earle. The Schumann resonance: a global tropical thermometer. **Science**, v. 256, n. 5060, p. 1184-1187, 22 maio 1992. DOI: 10.1126/science.256.5060.1184. Disponível em: <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.256.5060.1184#con>. Acesso em: 21 set. 2023.

YIN, F.; ZHANG, Q.L.; JI, T.T.; JIANG, S. Diurnal variations of Schumann resonance signals in the Earth's ionosphere cavity. *J. Meteorol. Ciência.*, v. 35, p. 480–487, 2015.

