

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

GEANE MAGALHÃES REIS

**APLICAÇÃO DE TINTA CONDUTIVA PARA BLINDAGEM EMI EM
GUITARRAS ELÉTRICAS**

CAMPO MOURÃO

2023

GEANE MAGALHÃES REIS

**APLICAÇÃO DE TINTA CONDUTIVA PARA BLINDAGEM EMI EM
GUITARRAS ELÉTRICAS**

Application of conductive paint for EMI shielding on electric guitars

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentada como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. André Luiz Regis Monteiro

Coorientador: Prof. Dr. Márcio Rodrigues da Cunha

CAMPO MOURÃO

2023



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

GEANE MAGALHÃES REIS

**APLICAÇÃO DE TINTA CONDUTIVA PARA BLINDAGEM EMI EM
GUITARRAS ELÉTRICAS**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentada como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Eletrônica da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

Data de aprovação: 30/Novembro/2023

André Luiz Regis Monteiro

Doutorado em Engenharia Elétrica e Informática Industrial
Universidade tecnológica Federal do Paraná

Márcio Rodrigues da Cunha

Doutorado em Engenharia Elétrica
Universidade tecnológica Federal do Paraná

Eduardo Giometti Bertogna

Doutorado em Engenharia Elétrica
Universidade tecnológica Federal do Paraná

Osmar Tormena Júnior

Doutorado em Engenharia Elétrica
Universidade tecnológica Federal do Paraná

CAMPO MOURÃO

2023

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho de conclusão de curso à mulher que sempre foi a minha maior fonte de inspiração e apoio: minha Mãe. Ao longo desta jornada acadêmica, você foi a luz que iluminou o meu caminho nos momentos mais desafiadores. Logo após receber conselhos extraordinários seus, eu sempre ressaltava o quanto a senhora era inteligente e sábia. Seu amor incondicional, encorajamento constante e fé em mim, foram fundamentais para que eu alcançasse este objetivo. Literalmente, foi graças a senhora, somente a senhora, que hoje sou chamada de Engenheira. Cada página deste TCC é uma homenagem a senhora, que me ensinou a importância da dedicação, perseverança e do amor inabalável. Muito obrigado Mamis, por ser a minha inspiração e guia nesta jornada.

AGRADECIMENTO

Neste momento de realização, não posso deixar de expressar minha profunda gratidão a todas as pessoas que contribuíram de forma significativa para a conclusão deste trabalho. A realização deste TCC representa não apenas uma conquista pessoal, mas também o resultado de um esforço coletivo que jamais teria sido possível sem o apoio e a ajuda de muitos.

Primeiramente, quero agradecer à minha família, tios, primos e avós, o alicerce fundamental da minha vida, mesmo a quilômetros de distância, foram sempre presentes e sempre demonstraram apoio e atenção comigo. À minha mãe e irmã, que sempre estiveram ao meu lado, incentivando-me a alcançar meus objetivos e me apoiando nos momentos de dificuldade, obrigada pelo apoio incondicional. Sem vocês duas, nada disso teria sido possível.

Aos vários amigos, que compartilharam risadas, desafios e momentos inesquecíveis ao longo desta jornada acadêmica. Eu sempre digo que não é possível se formar sozinho, é essencial ter companheiros, amigos, para obter sucesso nesta caminhada, e graças a Deus, tive várias pessoas que me ajudaram nos estudos, nos momentos de desespero, e companheiros nos momentos de alegria.

Aos professores que me guiaram e orientaram ao longo deste processo, em especial aos professores André e Marcio, expressei minha sincera gratidão. Suas orientações, conhecimentos compartilhados e feedbacks foram essenciais para o sucesso deste trabalho.

Agradeço a Deus, por me amar, e sempre, inúmeras vezes organizou minha caminhada, corrigiu os meus caminhos e sempre me proporcionou uma vida de muitas aventuras, aprendizados e muito amor, por todos os lugares onde passei.

Agradeço a mim mesma por minha dedicação, perseverança e força de vontade. Esta jornada exigiu muito de mim, e estou orgulhosa por ter dado o meu melhor a cada passo do caminho. As pessoas sempre me subestimaram, mas só eu sei o que está dentro de mim, meus sonhos e minha força de vontade.

Por último, mas de forma alguma menos importante, quero agradecer profundamente à Kauane. Seu apoio inabalável, compreensão e amor foram meu refúgio nos momentos de pressão e ansiedade. Você foi a minha inspiração e motivação, e estou incrivelmente grata por ter tido você ao meu lado, amo você.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Exemplo de um circuito passivo de uma guitarra elétrica. _____	16
Figura 2 - Funcionamento dos captadores magnéticos. _____	16
Figura 3 - Estrutura básica dos elementos EMC. _____	18
Figura 4 - Emissão e Susceptibilidade Eletromagnética. _____	19
Figura 5 - Demonstração do funcionamento de uma Gaiola de Farada. _____	21
Figura 6 - Blindagem de guitarra utilizando fita de cobre. _____	22
Figura 7 - Medidor de espessura úmida. _____	25
Figura 8 - FFT do sinal de saída do amplificador, a) sistema sem blindagem x sistema com cabo blindado, volume 6, b) sistema sem blindagem x sistema com cabo blindado, volume 10. _____	28
Figura 9 - a) irregularidade na superfície da guitarra, b) recortes da fita de alumínio. _____	29
Figura 10 - Superfície lixada e início da aplicação da fita de alumínio. _____	29
Figura 11 - Fita de alumínio aplicada por toda a superfície da cavidade interna da guitarra. _____	30
Figura 12 - Aplicação da fita de alumínio na tampa superior da guitarra. _____	30
Figura 13 - Aterramento da superfície condutora. _____	31
Figura 14 - Tinta condutiva aplicada por toda a superfície da cavidade interna da guitarra. _____	31
Figura 15 - FFT do sinal de saída do amplificador, a) caixa ligada, sem cabo, sem guitarra, b) cabo blindado e não blindado, sem guitarra c) cabo blindado e não blindado, com guitarra. _____	33
Figura 16 - FFT do sinal de saída do amplificador, a) sinal com volume em 2, b) sinal com volume em 6, c) sinal com volume em 10. _____	34
Figura 17 - FFT do sinal de saída do amplificador, a) sinal original (padrão), b) sinal com atenuação nas baixas frequências (grave), c) sinal com atenuação nas altas frequências (agudo). _____	35
Figura 18 - Demonstração de posição dos controles da caixa amplificadora. _____	35
Figura 19 - FFT do sinal de saída do amplificador, a) comparação entre os captadores na posição 1,2 e 3, no volume 6, b) comparação entre os captadores na posição 1,4 e 5, no volume 6. _____	36

Figura 20 - FFT do sinal normalizado, volume fixo em 6 a) captador na posição 1 e 2, b) captador na posição 1 e 3, c) captador na posição 1 e 4, d) captador na posição 1 e 5. _____	37
Figura 21 - FFT do sinal de saída do amplificador, captador na posição 1 a) volume em 2, b) volume em 4, c) volume em 6. _____	38
Figura 22 - FFT do sinal de saída do amplificador, captador na posição 1 a) volume em 8, b) volume em 10. _____	38
Figura 23 - FFT do sinal de saída do amplificador, captador na posição 1, volume 2, 4, 6, 8, 10. _____	39
Figura 24 - FFT do sinal normalizado, a) volume 6 e 2, b) volume 6 e 4, c) volume 6 e 8, d) volume 6 e 10. _____	40
Figura 25 - FFT do sinal de saída do amplificador, volume 6. a) amostra 1 e 2, b) amostra 1 e 3, c) amostra 2 e 3. _____	41
Figura 26 - FFT do sinal normalizado, a) amostra 1 e 2, b) amostra 1 e 3, c) amostra 2 e 3. _____	42
Figura 27 - FFT do sinal normalizado, a) amostra 1 e 2, b) amostra 1 e 3, c) amostra 2 e 3. _____	43
Figura 28 - FFT do sinal normalizado, a) amostra 1 e 2, b) amostra 1 e 3, c) amostra 2 e 3. _____	44
Figura 29 - Resultado da blindagem de guitarra com fita adesiva de alumínio a) volume 6. B) volume 10. _____	45
Figura 30 - FFT do sinal normalizado, a) amostra 1 e 2, b) amostra 1 e 3. _____	46
Figura 31 - FFT do sinal normalizado, a) amostra 1 e 2, b) amostra 1 e 3. _____	47
Figura 32 - Resultado da blindagem de guitarra com tinta condutiva a) volume 6. b) volume 10. _____	48
Figura 33 - Sistema parcialmente blindado, a) alumínio b) tinta. _____	49
Figura 34 - Sistema completamente blindado, a) alumínio b) tinta. _____	50

Lista de tabelas

Tabela 1 - Ensaio de testes da pesquisa	26
Tabela 2 - Critérios estabelecidos.	27
Tabela 3 - Tabela com valores de atenuação do sinal de ruído	51

RESUMO

Este trabalho descreve um estudo sobre a Interferência Eletromagnética (EMI) analisada em testes da eficácia da blindagem em uma guitarra elétrica, sistemas de áudio são bastante afetados essas interferências, portanto a técnica de blindagem é utilizada para minimizar estes efeitos. O objetivo é analisar o comportamento de uma blindagem utilizando tinta condutiva de grafeno, que foi escolhida por ser a nova tendência em soluções e aplicações tecnológicas. Os testes de EMI em laboratório foram divididos em três análises: EMI de um sinal isento de blindagem, EMI de um sinal blindado por uma fita adesiva de alumínio e, por fim, EMI de um sinal blindado por tinta condutiva. Os três resultados foram comparados, tendo o sinal sem blindagem como referência. No geral, em um sistema completamente blindado o resultado final da blindagem com tinta e com fita foi muito satisfatório. Entretanto, foi observada uma pequena diferença de comportamento entre a fita de alumínio e a tinta de grafeno, a tinta em um sistema parcialmente blindado apresenta melhor comportamento, além de que o seu uso é de fácil aplicação e por isso garante maior confiabilidade a técnica.

Palavras-chave: sistema de áudio, fita adesiva de alumínio, análise laboratorial.

ABSTRACT

This work describes a study on Electromagnetic Interference (EMI) analyzed in tests of the effectiveness of shielding in an electric guitar, audio systems are greatly affected by these interferences, therefore the shielding technique is used to minimize these effects. The objective is to analyze the behavior of a shield using graphene conductive paint, which was chosen because it is the new trend in technological solutions and applications. The EMI tests in the laboratory were divided into three analyses: EMI of a signal without shielding, EMI of a signal shielded by an aluminum adhesive tape and, finally, EMI of a signal shielded by conductive paint. The three results were compared, having the signal without shielding as a reference. In general, in a completely shielded system, the final result of the shielding with paint and tape was very satisfactory. However, a small difference in behavior was observed between the aluminum tape and the graphene paint, the paint in a partially shielded system presents better behavior, in addition to its use being easy to apply and therefore guarantees greater reliability to the technique.

Keywords: audio system, aluminum adhesive tape, signal analysis.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivos	13
1.2	Justificativa	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	Guitarra Elétrica	15
2.1.1	Circuitos passivos.....	15
2.1.2	Captadores	16
2.1.3	Potenciômetro	17
2.1.4	Chave seletora	17
2.1.5	Capacitores	18
2.2	Compatibilidade Eletromagnética	18
2.2.1	Interferência Eletromagnética.....	19
2.3	Ruído	19
2.3.1	Análise do Espectro.....	20
2.3.2	Transformada de Fourier	20
2.4	Blindagem eletrostática (Gaiola de Faraday)	20
2.4.1	Blindagem em Guitarra.....	22
2.5	Tintas Condutivas	22
3	METODOLOGIA	24
3.1	Materiais para teste	24
3.2	Método para aplicação da tinta	24
3.3	Medição da espessura da tinta	24
3.4	Procedimento	25
3.5	Análise dos sinais	27
3.6	Cabo Blindado	27
3.7	Blindagem com Fita de alumínio	28
3.8	Blindagem com Tinta Condutiva	31

4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1	Identificação do sinal de ruído.....	32
4.2	Estabelecimento de critérios para o experimento.....	33
4.3	Repetibilidade.....	40
4.4	Blindagem com Fita de Alumínio.....	42
4.5	Blindagem com Tinta Condutiva.....	45
4.6	Fita de Alumínio versus Tinta Condutiva de Grafeno	48
5	CONCLUSÃO.....	52
	REFERÊNCIAS	54
	APÊNDICE A - Código	59

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho se concentra na utilização da tinta condutiva para a blindagem contra a Interferência Eletromagnética (EMI) de guitarras elétricas, que é uma técnica que visa proteger o circuito interno da guitarra contra sinais de interferência indesejados, garantindo uma reprodução de som limpa e livre de ruídos.

Todos os tipos de equipamentos de áudio são suscetíveis à EMI. Este tipo de interferência costuma se manifestar como um ruído específico, como um zumbido ou estática, e pode ser originado de diversas fontes de campos magnéticos. Para garantir uma qualidade de som satisfatória, é crucial aplicar uma blindagem adequada no instrumento elétrico. Caso contrário, o ruído pode se tornar constante. (Lopez, 2016; Lutheria, 2023).

A solução para este tipo de interferência é a blindagem eletromagnética, baseada na gaiola de Faraday, consiste em envolver o equipamento com um material condutor que garanta a imunidade das EMI, evitando que elas atinjam o circuito interno (Donald; Mardigian, 1988).

Os materiais mais comuns que são utilizados para efetuar a blindagem em guitarras são as folhas de cobre e alumínio. Porém, a aplicação desta fita nas cavidades das guitarras se dá de forma trabalhosa e em muitos casos é necessário fazer adaptações para que toda a superfície se torne uniforme.

A tinta condutiva por outro lado é de fácil aplicação, ela é composta por partículas condutoras, que podem ser de prata, cobre, grafeno e outros metais, suspensas em um solvente que permite a aplicação por meio de pincel, caneta ou impressora (Aravanis, 2019).

Este trabalho abordará uma visão geral das técnicas de blindagem de guitarra e irá apresentar as características da tinta condutiva, esta que vem ganhando destaque por conta da sua eficiência em termos de sua ampla aplicabilidade e condutividade (Vdh, 2012; Walkey, 2021).

1.1 Objetivos

O objetivo deste estudo é direcionado a uma análise abrangente da eficiência da blindagem eletromagnética em guitarras elétricas, com foco específico na tinta condutiva como uma alternativa viável.

Para alcançar o objetivo proposto, foram estabelecidos objetivos específicos que guiarão a pesquisa e ajudarão a entender melhor a eficácia da tinta condutiva para esta aplicação.

- a. Identificar e classificar os sinais de interferência eletromagnética presentes em uma guitarra elétrica sem qualquer tipo de blindagem.
- b. Estabelecer critérios para obter um sinal de referência padrão para o estudo.
- c. Realizar a blindagem da guitarra, utilizando tanto fita de alumínio quanto tinta condutiva, e analisar os resultados obtidos.
- d. Comparar os sinais puros, sem nenhuma forma de blindagem, com os sinais provenientes da guitarra blindada utilizando esses dois diferentes materiais.

1.2 Justificativa

A guitarra elétrica é um instrumento musical amplamente utilizado em diversos gêneros musicais. Sua qualidade sonora depende de vários fatores, como a construção, os componentes, os acessórios e blindagem. A blindagem é uma técnica que visa proteger o circuito interno contra interferências eletromagnéticas que podem prejudicar o som produzido pelo instrumento. (Lopez, 2016; Lutheria, 2023).

O material mais comum para realização da blindagem é feita com fitas adesivas de cobre ou alumínio, que são aplicadas nas cavidades internas da guitarra. No entanto, essa técnica apresenta algumas desvantagens, como a dificuldade de aplicação, e necessidade de adaptações (Santo, 2018).

O objetivo desta pesquisa é trazer como alternativa para esta aplicação, utilizar uma tinta condutiva, que é um material composto por partículas condutoras para substituir a fita adesiva. A tinta condutiva tem a vantagem de ser de fácil aplicação, e de se adaptar a qualquer superfície (Aravanis, 2019; Vdh, 2012; Walkey, 2021).

Portanto, este trabalho se justifica pela relevância de estudar a eficiência da blindagem com tinta condutiva em guitarras elétricas, comparando-a com a blindagem com fita de alumínio, que é a técnica mais utilizada atualmente. O estudo visa contribuir para o aprimoramento da qualidade sonora das guitarras elétricas, bem como para o desenvolvimento de novas aplicações da tinta condutiva em outras áreas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Na música, para produzir os sons, precisa-se dos instrumentos musicais. São vários os tipos de instrumentos, e uma das formas de classificá-los é a forma como o som é produzido (Mugnolo, 2022).

A Organologia, é a ciência que estuda e classifica os instrumentos musicais. E não somente isto, também se aprofunda nas questões históricas e culturais, levando em conta as semelhanças da forma física, os sons e o design de cada um. Um tipo de classificação existente, são os “eletrófonos”, grupo no qual a guitarra elétrica faz parte. Nada mais é que instrumentos que necessitam de eletricidade para gerar ou amplificador o som (Lima, 2023).

2.1 Guitarra Elétrica

A física e engenharia, devidamente aplicadas, permitem o desenvolvimento de bons instrumentos musicais, como exemplo os instrumentos de corda. Para estes, desde o desenvolvimento das cordas à estrutura física e seus arranjos eletrônicos é possível obter um bom resultado sonoro (Azevedo, 2018).

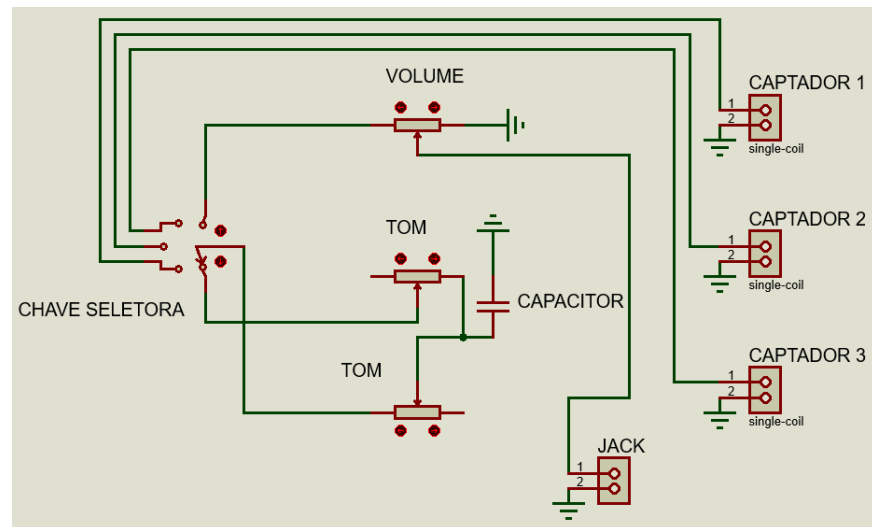
O funcionamento da guitarra elétrica, basicamente consiste em oscilações mecânicas das cordas, onde estas oscilações são convertidas em impulsos elétricos por meio da indução eletromagnética, para que, posteriormente, possam ser amplificadas e transformadas em sinais sonoros. Ou seja, quando um músico palheta ou dedilha as cordas, a vibração mecânica gera um sinal elétrico no *pick-up* (fonocaptador), que viaja pelos cabos até o amplificador, onde recebe este sinal e o libera em um alto-falante que produz o som (Bianchin, 2011).

2.1.1 Circuitos passivos

Um circuito eletrônico nada mais é uma junção de componentes que trocam energia entre si, através de condutores. Existem componentes do tipo passivo e ativo: os ativos fornecem energia para o circuito, como geradores e baterias, já os passivos são aqueles que recebem energia do circuito, como resistores, capacitores e indutores (Glennaps, 2023).

A Figura 1 abaixo, ilustra um circuito interno de uma guitarra elétrica, composto apenas por elementos passivos.

Figura 1 - Exemplo de um circuito passivo de uma guitarra elétrica.



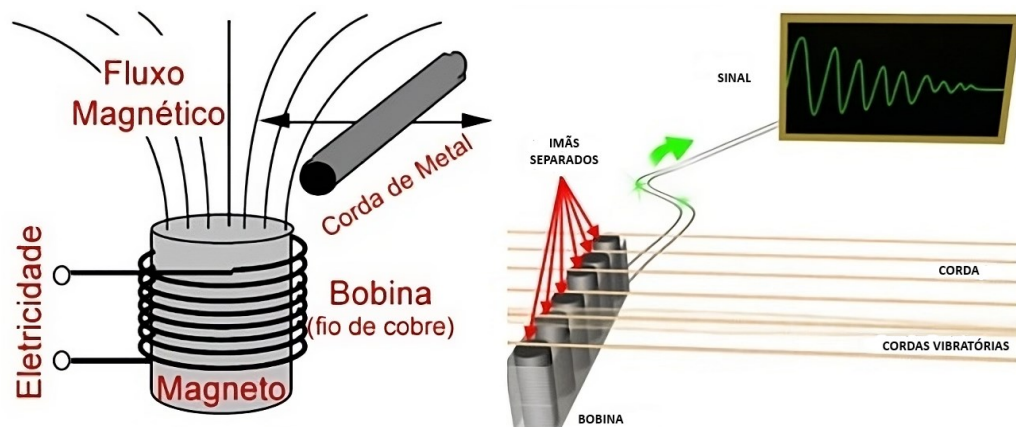
Fonte: Adaptado de Lutheria (2023).

2.1.2 Captadores

Os captadores são transdutores responsáveis por transformar ondas mecânicas em sinais elétricos, ou seja, convertem energia mecânica em energia elétrica. Posteriormente, estes sinais são amplificados, e enviados a um alto falante como ondas sonoras. Alguns captadores podem exigir alimentação elétrica ou não. Os primeiros são chamados de captadores ativos e os demais passivos (Magalhães, 2011).

A Figura 2 apresenta um captador ativo. Nesta configuração, a oscilação da corda, que se aproxima ou se afasta da bobina, induz uma corrente que muda de sentido com a mesma frequência da oscilação onda sonora, provocada pela corda, transmitindo, desse modo, sua frequência ao amplificador e alto-falante (Radaelli, 2010).

Figura 2 - Funcionamento dos captadores magnéticos.



Fonte: Adaptado de May (2011).

O funcionamento dos captadores magnéticos é baseado na lei de Faraday, que quantifica a indução de corrente elétrica em um condutor colocado em um campo magnético variável ou em um condutor em movimento em um campo magnético constante, também conhecida como lei de indução magnética (Radaelli, 2010).

Falando sobre a qualidade sonora dos captadores, a quantidade de bobinas utilizadas na sua composição influencia nessa questão. Existem três tipos de captadores: simples (*single-coil*), duplos (*humbucker*) e quádruplos (*quad-rail*). Os captadores de bobinas duplas foram criados para solucionar o problema de interferências captadas pelos captadores de bobinas simples, pois todo o ruído captado é anulado, devido as correntes elétricas viajando em sentidos opostos. Por outro lado, as altas frequências são eliminadas (Magalhães, 2011).

2.1.3 Potenciômetro

Muitas aplicações necessitam de um componente que permita a modificação da resistência mesmo após sua instalação no circuito. Esse componente é conhecido como potenciômetro, e seu valor da resistência pode ser alterado variando a posição do cursor ao longo da trilha resistiva, conforme João Paulo Pereira, (2020).

Existem diversas aplicações para o uso do potenciômetro, como o controle de volume, controle de tonalidade, velocidade de um motor, controle de sensibilidade e muito mais (Braga, 2013).

2.1.4 Chave seletora

A chave seletora é bem simples, ela interrompe ou permite a passagem de uma corrente em um circuito de baixa tensão. De forma manual, você seleciona o comando que será realizado, lembrando que as chaves podem variar o número de posições e de contatos (Tecnologia, 2018).

Na guitarra elétrica, a chave seletora serve para selecionar ou fazer combinações entre os captadores. Tais combinações são utilizadas para alterar o timbre, dependendo do objetivo do músico, produzindo sons diferente (Lutheria, 2023).

2.1.5 Capacitores

Os capacitores têm a capacidade de armazenar cargas elétricas em suas armaduras. Quando carregados, eles acumulam energia potencial elétrica devido ao campo elétrico presente na região entre eles (Pereira, 2020).

Como todos os dispositivos eletrônicos, o capacitor também tem suas limitações, caso seja exposto a tensão acima do limite estabelecido pelo fabricante, pode causar danos ou mal funcionamento. Uma de suas aplicações em conjunto com outros componentes é formar filtros que podem ser utilizados em equipamentos de áudio (Afonso, 2011).

2.2 Compatibilidade Eletromagnética

A compatibilidade eletromagnética (EMC – electromagnetic compatibility) é um sistema considerado eletromagneticamente compatível com seu ambiente se atender a três critérios: não causar interferência em outros sistemas, não ser suscetível a emissões de outros sistemas e não causar interferência em si mesmo (Paul, 2006).

Em outras palavras, para uma boa EMC, não pode causar interferência e mal funcionalmente em outros equipamentos, não pode sofrer interferência e por último não pode se auto afetar com ruídos indesejados (Schlichting, 2023).

De acordo com Rafael Dal (2019), o estudo da EMC está relacionado à geração, recepção e transmissão de energia eletromagnética entre equipamentos eletrônicos. Ele define uma estrutura básica de um problema de EMC que pode estar presente ou não em projetos. Essa estrutura apresentada na Figura 3, é composta por um sistema gerador (emissor) de ruídos, sistemas suscetíveis a essas emissões chamados receptores (vítimas) e um caminho de propagação das emissões eletromagnéticas do sistema emissor até o receptor.

Figura 3 - Estrutura básica dos elementos EMC.



Fonte: Adaptado de Dal (2019, p. 7)

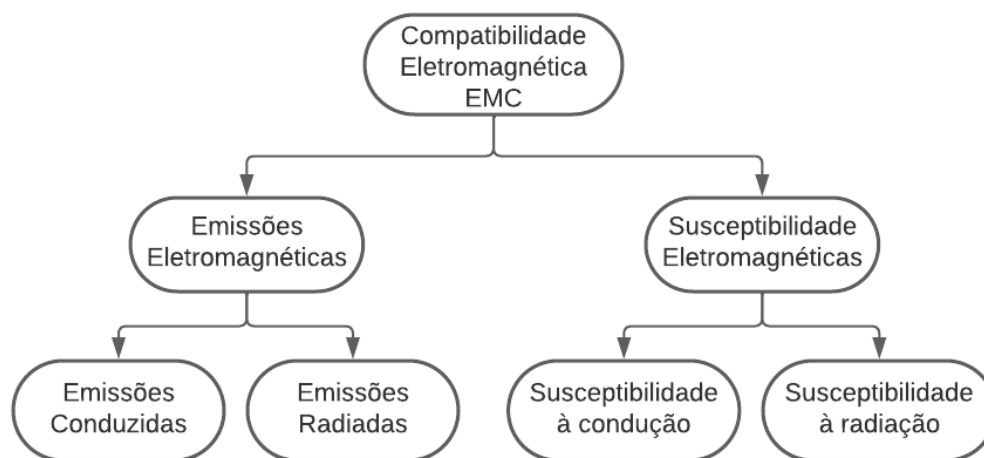
2.2.1 Interferência Eletromagnética

EMI (*electromagnetic interference*) ocorre quando a energia é emitida por um sistema eletrônico e é recebida por outro sistema. A transferência de energia entre sistemas ocorre por meio de modos de acoplamento não intencionais e, dependendo da magnitude do sinal emitido, pode causar interferência nos sistemas receptores. A propagação dessas energias produzidas por sistemas eletrônicos pode ocorrer por meio de acoplamentos conduzidos, como cabos e materiais metálicos, ou de forma irradiada pelo ar (Paul, 2006).

Para evitar que estas interferências ocorram, existem alguns procedimentos a serem adotados, como identificar a fonte emissora e atuar reduzindo seus efeitos ou atuar no receptor, tornando-o menos susceptível e dificultando a transferência de emissões presentes no seu ambiente de funcionamento (Schlichting, 2003).

As emissões e susceptibilidades eletromagnéticas podem ser caracterizadas em dois grupos: conduzidas e radiadas, como mostrado na Figura 4.

Figura 4 - Emissão e Susceptibilidade Eletromagnética.



Fonte: Adaptado Schlichting (2003, p. 8).

2.3 Ruído

Na eletrônica, o termo "ruído" é usado para se referir a correntes ou tensões indesejadas que podem estar presentes em certos sistemas. Esses ruídos podem surgir de várias fontes aleatórias, como resistências, dispositivos ativos, interferências de rede elétrica, sinais de RF desmodulados e outros sinais de interferência indesejados. Além disso, eles podem ser gerados pelo comportamento não linear de alguns componentes, como semicondutores que operam em alta frequência. Essas operações de comutação podem produzir sinais indesejados, também conhecidos

como ruídos eletromagnéticos, que podem se espalhar pela rede elétrica ou pelo ar (Dal, 2019; Self, 2015).

2.3.1 Análise do Espectro

O espectro de frequência é uma representação das diferentes frequências presentes em um sinal. Tanto nos testes de emissão radiada quanto nos testes de emissão conduzida, os dispositivos de leitura realizam uma construção rápida de um espectro inicial (Severino, 2018).

O intuito de analisar os espectros é observar o desempenho do equipamento em teste para detectar quais faixas de frequência estão com uma elevada amplitude. Em seguida pode ser feita uma observação mais completa sobre os pontos específicos para verificar se o nível está em conformidade com os limites estabelecidos (Severino, 2018).

2.3.2 Transformada de Fourier

No geral a aplicabilidade da transformada de Fourier, segundo Oliveira (2015), é uma ferramenta matemática fundamental na análise de sinais e sistemas, especialmente em áreas como processamento de sinais, análise de espectro, engenharia elétrica, matemática e física.

A Transformada de Fourier é usada para decompor um sinal complexo em suas componentes de frequência, permitindo a análise de como diferentes frequências contribuem para a formação do sinal original. Ela transforma um sinal do domínio do tempo (ou espaço) em seu equivalente no domínio da frequência. (Pavan; Carneiro, 2023).

Nos estudos de Rangel (2021), a Transformada de Fourier foi essencial para análise espectral, onde permitiu identificar as frequências dominantes em um sinal, separar componentes de alta e baixa frequência e realiza muitas outras operações úteis em processamento de sinais, como filtragem, modulação e compressão de dados.

2.4 Blindagem eletrostática (Gaiola de Faraday)

Seguindo o princípio da lei de Gauss, sobre a distribuição de cargas em uma superfície fechada, a gaiola de Faraday nada mais é que um recipiente isolado por um

material condutor que protege o seu interior de campos eletrostáticos externos (Nussenzweig, 2015; Bauer; Westfall; Dias, 2012).

De forma mais detalhada, devido ao efeito da repulsão das cargas, elas se distanciam entre si e se alojam nos arredores desse campo elétrico. Assim, os efeitos que ocorrem no interior se anulam, tornando o campo elétrico nulo, portanto a cavidade no interior de condutores é blindada de campos elétricos (Nussenzweig, 2015; Bauer; Westfall; Dias, 2012).

A blindagem é um recurso para solucionar possíveis problemas de EMI, a técnica de blindagem consiste em utilizar um material condutor que envolva o circuito eletrônico para evitar problemas com interferências. A técnica pode ser utilizada com duas finalidades. A primeira de evitar com que o produto irradie EMI para fora, para que não interfira em outros sistemas. A segunda finalidade é blindar este produto de possíveis sinais de interferências provenientes de outros aparelhos eletrônicos próximos (Paul, 2006). A Figura 5 é uma demonstração científica de uma gaiola de Faraday.

Figura 5 - Demonstração do funcionamento de uma Gaiola de Farada.



Fonte: Kruger (2017).

De acordo com Donald (1988) a eficácia de uma blindagem aplicada em produtos eletrônicos pode ser limitada devido à presença de aberturas no material. Um projeto de blindagem com muitos furos e aberturas pode comprometer o desempenho do produto em relação à EMI radiada.

2.4.1 Blindagem em Guitarra

É importante realizar uma blindagem adequada no instrumento elétrico para obter uma qualidade sonora final satisfatória. Quando a blindagem não é realizada corretamente, seja nos cabos, no *jack* ou mesmo na parte frontal do instrumento, o ruído pode se tornar persistente (Lutheira, 2023).

Equipamentos de áudio de todos os tipos são afetados por EMI. Esta, pode ser causada pelo próprio equipamento ou pelos cabos conectados a ele, captando campos eletromagnéticos próximos. Essa interferência geralmente se manifesta como um tipo específico de ruído, como zumbido ou estática, e pode ser causada por uma ampla variedade de fontes de campos magnéticos (Lopez, 2016).

A blindagem é uma técnica utilizada para minimizar os ruídos das guitarras, que utiliza o princípio da "Gaiola de Faraday" para isolar o instrumento de interferências eletromagnéticas externas. Embora a blindagem possa reduzir as interferências, ela não é capaz de eliminar completamente o ruído (Nussenzveig, 2015; Bauer; Westfall; Dias, 2012).

Em guitarras, a blindagem comumente aplicada nas cavidades é a utilização de fita metálica adesiva de cobre ou alumínio, além de tinta condutiva (Berni, 2015). A Figura 6 mostra uma aplicação de blindagem de guitarra utilizando uma fita de cobre.

Figura 6 - Blindagem de guitarra utilizando fita de cobre.



Fonte: Lobão (2013).

2.5 Tintas Condutivas

A tinta condutiva é uma realidade e está se destacando cada vez mais em diversas linhas de pesquisa para geração de produtos e em outras diversas

aplicações. Algumas de suas aplicações incluem a fabricação de microcircuitos, células solares, impressão de microeletrodos flexíveis, texto condutor, arte eletrônica e antenas 3D em papel, entre outros. Isso tudo só é possível porque na sua composição existe uma mistura de partículas condutoras, pastas de polímeros e solventes dispersos. A tinta condutiva está ganhando destaque por conta da sua eficiência em termos de custo e condutividade (Vdh, 2012; Walkey, 2021).

Aravanis (2019) explora a capacidade das tintas condutoras em formar revestimentos sobre substratos isolantes, permitindo a dissipação da carga estática. Segundo o autor, uma variedade de partículas condutoras, como nanotubos de carbono, negro de fumo, fibras de carbono, grafite, materiais metálicos, semicondutores inorgânicos e polímeros intrinsecamente condutores, podem ser utilizadas para esse propósito.

De acordo com Melo, Mania e Silva (2021), o carbono é um dos materiais mais estudados devido à sua facilidade de configuração, e é encontrado na natureza como grafite, grafeno, diamante e nanotubo de carbono (CTN). Essa versatilidade tem possibilitado a criação de novos produtos a partir do carbono.

Pesquisadores estão se aprofundando cada vez mais na utilização de pó de carbono na composição da tinta condutiva, uma vez que observaram a sua boa resposta em aplicações como isolamento eletromagnético de equipamentos e preenchimento de trilhas em placas de circuitos impressos (Walkey, 2021).

O grafeno é um material obtido a partir do carbono, também conhecido por ser uma de suas formas alotrópicas, ou seja, o grafeno é uma reorganização de átomos da estrutura da molécula de carbono, o que fornece diferenças significativas nas propriedades físico-químicas do mesmo. As propriedades únicas do grafeno levaram ao uso em uma ampla gama de aplicações, incluindo semicondutores, dispositivos de energia, dissipadores de calor, células solares, tinta condutiva, dentre outros (Farai, 2018; Ferrari, 2015; Orlita, 2010). O estudo do grafeno cresce a cada dia, uma vez que este material apresenta alta condutividade elétrica e mobilidade eletrônica. (Melo; Mania; Silva, 2021; Aravanis, 2019).

3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho, os seguintes tópicos indicados foram considerados.

3.1 Materiais para teste

- a. Tinta Condutiva de grafeno (desenvolvida pela empresa Carbon Explore).
- b. Equipamentos
 - Osciloscópio (Tektronix TDS 2002B, 60MHz);
 - Multímetro (Minipa ET-2042D);
 - Guitarra (Seiz);
 - Caixa Amplificadora (Sheldon GT 150);

3.2 Método para aplicação da tinta

A aplicação da tinta seguirá as diretrizes da norma NBR 13245, que, embora seja voltada principalmente para a construção civil, fornece orientações para a seleção apropriada da superfície, seu tratamento e preparação da superfície, além do método correto de aplicação da tinta, como cuidados com sobreposição e qual material a ser utilizado.

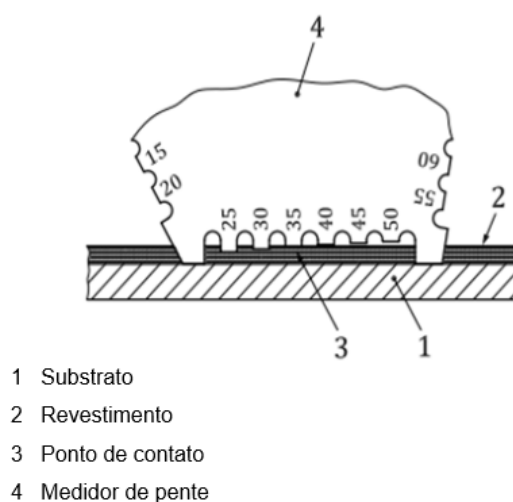
3.3 Medição da espessura da tinta

Há duas abordagens para medir a espessura da tinta. Uma delas é conhecida como o método de espessura seca, que requer o uso de equipamentos especializados. No entanto, esses equipamentos tem um custo significativo, o que levou à decisão de não os utilizar. A alternativa adotada foi o método de espessura de filme úmido, que não exige investimentos elevados em equipamentos e é adequado para medir a espessura da tinta nos materiais específicos deste projeto. As diretrizes para essa medição seguiram a norma ISO 2808 como referência, que ensina como deve ser utilizado, e como auxílio foi utilizado o equipamento modelo MTK-1250 da Metro Tokyo.

Ao utilizar um medidor de espessura úmida, o primeiro passo é selecionar a faixa de espessura que você deseja verificar. Em seguida, faça contato com o medidor

de forma perpendicular sobre a superfície pintada que será medida. É importante manter o contato até que a tinta preencha um dos quadrados do medidor. A espessura da tinta úmida é determinada observando o último quadrado preenchido pela tinta e o próximo quadrado que a tinta não alcançou. Este intervalo representa a espessura da camada de tinta aplicada. Seguindo esses passos, você poderá medir com precisão a espessura da tinta úmida. A Figura 7 ilustra como funciona o medidor de espessura úmida.

Figura 7 - Medidor de espessura úmida.



Fonte: Adaptado ISO 2808

3.4 Procedimento

O procedimento foi executado em seis etapas distintas:

a. A análise inicial foi realizada utilizando um osciloscópio para identificar os sinais de ruídos captados pelo sistema composto por caixa amplificadora, cabo e guitarra antes da blindagem. O *software* Matlab foi empregado para registrar e plotar os gráficos deste sinal.

b. Critérios de teste foram estabelecidos para otimizar e classificar o sinal desejado, servindo como referência para o estudo.

c. Os sinais foram coletados em três das diferentes para maior confiabilidade dos dados coletados.

d. A blindagem com fita adesiva de alumínio foi realizada da seguinte maneira: a guitarra foi desmontada, a cavidade da guitarra preparada, e a fita de alumínio aplicada em toda a superfície. O circuito da guitarra foi aterrado à superfície condutiva. Após a remontagem da guitarra, os sinais foram extraídos nas mesmas condições do teste anterior para análise e comparação.

e. A blindagem com tinta condutiva envolveu: a remoção da fita de alumínio, a preparação da cavidade da guitarra, e a aplicação de três camadas de tinta condutiva com um pincel, com um período de secagem de 24 horas entre cada aplicação. O circuito da guitarra foi aterrado à camada condutora. Após a remontagem da guitarra, todas as análises de sinais emitidos pela guitarra foram refeitas, seguindo os mesmos padrões anteriores.

f. Por fim, os sinais dos três cenários foram comparados.

A Tabela 1 apresenta os ensaios dos testes realizados ao longo da pesquisa.

Tabela 1 - Ensaios de testes da pesquisa

Análise do Sinal de Ruído					
Identificação do sinal de ruído					
	Caixa Amp.	Cabo s/ Blindagem	Cabo c/ Blindagem	Guitarra	Blindagem
Ensaio 1	x	---	---	---	---
Ensaio 2	x	x	---	---	---
Ensaio 3	x	---	x	---	---
Ensaio 4	x	x	---	x	---
Ensaio 5	x	---	x	x	---
Critérios para o experimento (1 - Faixa de Frequência)					
Cx. Amp. (x); Cabo s/ Blindagem (x); Guitarra (x)					
	Freq. 12,5 KHz	Freq. 5 KHz			Blindagem
Ensaio 6	x	---	---		---
Ensaio 7	---	x	---		---
Critérios para o experimento (2 - Caixa Amplificadora)					
Cx. Amp. (x); Cabo s/ Blindagem (x); Guitarra (x);					
	Grave	Médio	Agudo		Blindagem
Ensaio 8	x	x	x		---
Ensaio 9	---	x	x		---
Ensaio 10	x	x	---		---
Critérios para o experimento (3 - Guitarra)					
Cx. Amp. (x); Cabo s/ Blindagem (x); Guitarra (x);					
	Tom	Captadores	Volume	---	Blindagem
Ensaio 11	x	---	---	---	---
Ensaio 12	---	x	---	---	---
Ensaio 13	---	---	x	---	---
Blindagem Fita Adesiva de Alumínio					
	Caixa Amp.	Cabo s/ Blindagem	Cabo c/ Blindagem	Guitarra	Blindagem
Ensaio 14	x	x	---	x	Alumínio
Ensaio 15	x	---	x	x	x
Blindagem Tinta Condutiva					
	Caixa Amp.	Cabo s/ Blindagem	Cabo c/ Blindagem	Guitarra	Blindagem
Ensaio 16	x	x	---	x	Tinta
Ensaio 17	x	---	x	x	Tinta

Fonte: Autoria própria (2023).

Por fim a Tabela 2 apresenta o resumo dos critérios que foram estabelecidos para a execução da pesquisa.

Tabela 2 - Critérios estabelecidos.

Configurações Estabelecidas	
Faixa de freq.:	5 KHz
Caixa Amp.:	Controles fixados na metade do cursor
Guitarra (Tom)	Máximo
Guitarra (Captador)	Posição 1 da chave seletora
Guitarra (Volume)	Fixo em 6
Cabo	Com e Sem Blindagem
Guitarra	Com e Sem Blindagem

Fonte: A autoria própria (2023).

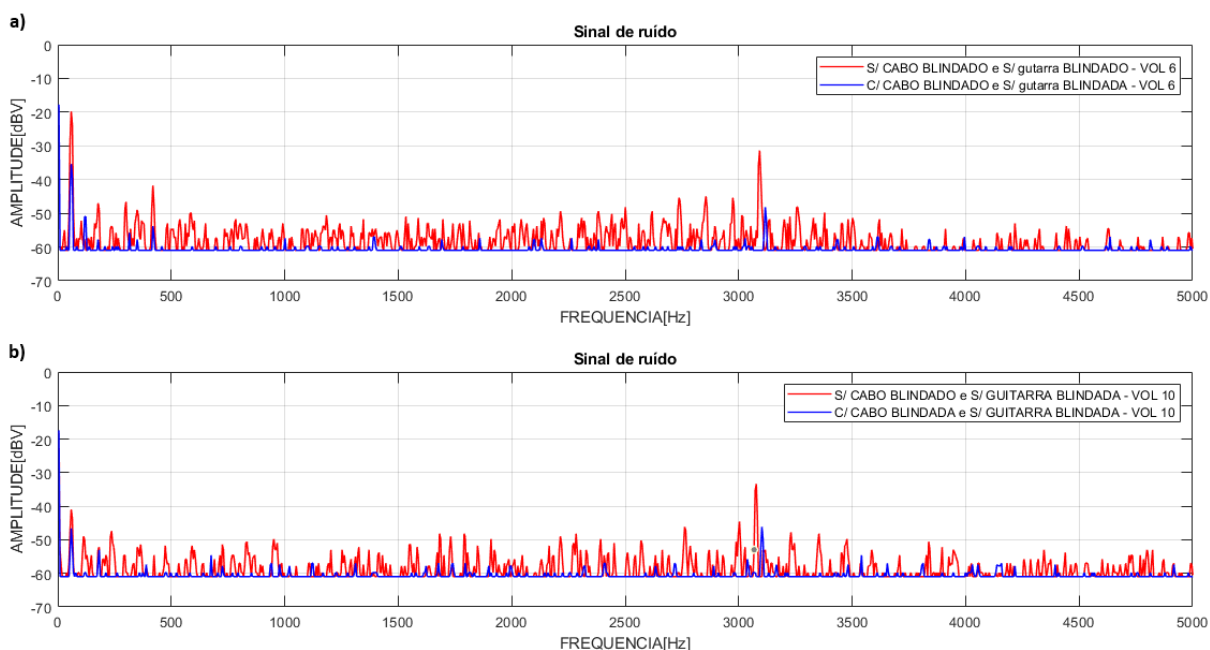
3.5 Análise dos sinais

O objetivo da comparação entre a blindagem com fita de alumínio e a tinta condutiva de grafeno é avaliar se a tinta apresenta a mesma eficiência que a técnica com fita. Para realizar essa avaliação, os sinais característicos do ruído foram extraídos por meio do osciloscópio e salvos em arquivos .CSV. Com o auxílio das ferramentas do *software* Matlab, os espectros de frequência foram gerados via FFT e assim representados em gráficos, permitindo uma comparação direta entre eles. Isso possibilitou a conclusão sobre se ambas as técnicas de blindagem apresentaram desempenho semelhante ou se uma é mais eficiente que a outra.

3.6 Cabo Blindado

Todas as análises iniciais foram conduzidas com o sistema completamente desprovido de blindagem. Isso inclui a caixa amplificadora, o cabo da guitarra e a própria guitarra. A Figura 8, exibe um gráfico do comportamento do sinal de ruído, quando a guitarra estava sem blindagem, mas agora com um cabo blindado.

Figura 8 - FFT do sinal de saída do amplificador, a) sistema sem blindagem x sistema com cabo blindado, volume 6, b) sistema sem blindagem x sistema com cabo blindado, volume 10.



Fonte: Autoria própria (2023).

O gráfico destaca a relevância do uso de um cabo de guitarra blindado. Embora o cabo não tenha eliminado completamente os ruídos, conseguiu atenuar de maneira significativa as amplitudes das frequências indesejadas. Diante desta análise, ao decorrer da pesquisa, os sinais foram analisados utilizando um com blindado e sem blindagem, em que dois conceitos foram estabelecidos, sistema parcialmente blindado, e sistema completamente blindado.

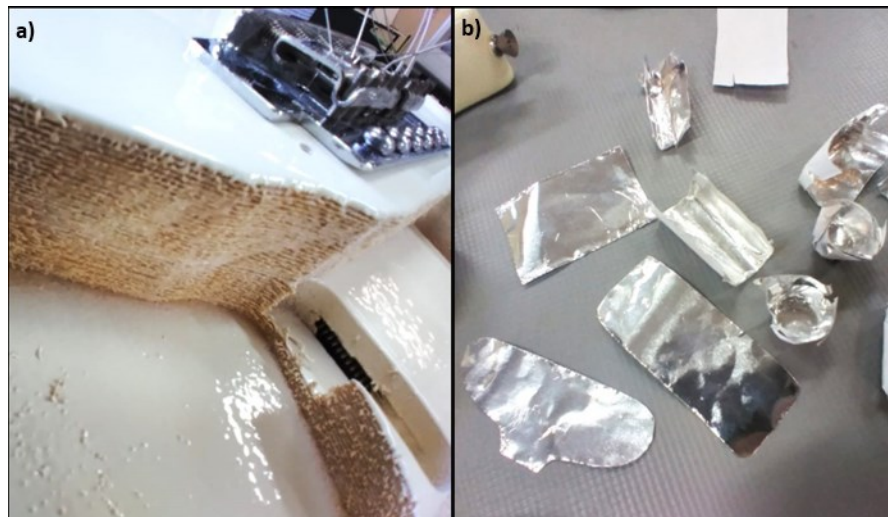
3.7 Blindagem com Fita de alumínio

Esta fase foi feita a blindagem da guitarra elétrica com fita adesiva de alumínio. O objetivo de usar a técnica com alumínio é fornecer um comparativo para quando a blindagem for realizada com tinta condutiva.

Para começar a aplicação, a guitarra foi totalmente desmontada, com a remoção das cordas, circuito, conectores e outras peças. Em seguida, foram feitos recortes de moldes da fita de alumínio para cobrir toda a cavidade da guitarra. Antes da aplicação da fita, notou-se que o interior da guitarra apresentava irregularidades em sua superfície. Para garantir uma boa aplicação da fita, essa superfície precisava estar o mais lisa possível. A Figura 9 mostra a condição inicial da guitarra e os recortes dos moldes da fita. Diante deste pequeno obstáculo, a superfície foi lixada com o

auxílio de uma micro retífica, a Figura 10, mostra o resultado depois de passar a máquina.

Figura 9 - a) irregularidade na superfície da guitarra, b) recortes da fita de alumínio.



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 10 - Superfície lixada e início da aplicação da fita de alumínio.



Fonte: Autoria própria (2023).

A Figura 11, exibe o resultado final da blindagem com fita adesiva de alumínio. É importante ressaltar que, durante a aplicação da fita, houve o cuidado de sobrepor as laterais de um recorte a outro, garantindo assim a continuidade em toda a superfície. A tampa superior da guitarra também foi blindada com a fita de alumínio. Isso se deve ao fato de que o objetivo da Gaiola de Faraday é manter o circuito interno totalmente isolado por uma superfície condutora. A Figura 12 mostra o resultado final da tampa.

Figura 11 - Fita de alumínio aplicada por toda a superfície da cavidade interna da guitarra.



Fonte: Autoria própria (2023).

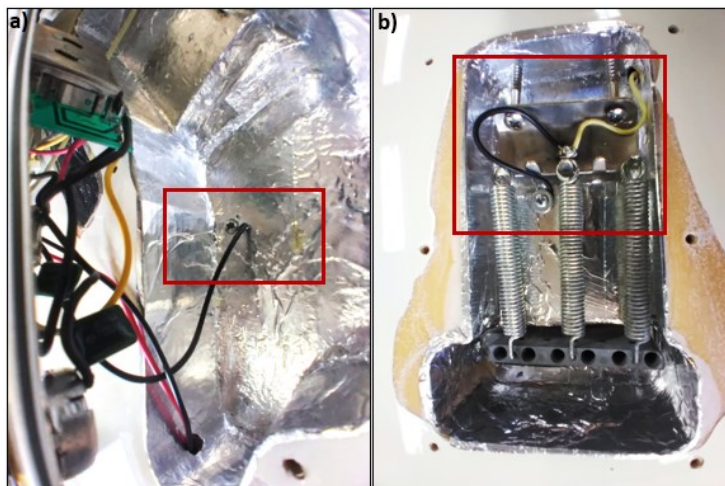
Figura 12 - Aplicação da fita de alumínio na tampa superior da guitarra.



Fonte: Autoria própria (2023).

Depois de aplicar a fita na cavidade da guitarra, o circuito foi remontado. Ao finalizar, antes de fechar, o terra do sistema foi conectado à superfície condutora. Como não é possível soldar neste material, utilizou-se um parafuso para fixar o fio condutor, mantendo contato com a superfície, conforme ilustrado na Figura 13.

Figura 13 - Aterramento da superfície condutora.



Fonte: Autoria própria (2023).

3.8 Blindagem com Tinta Condutiva

O passo seguinte foi blindar a guitarra com a tinta condutiva à base de grafeno. O procedimento é idêntico: abrir a guitarra, remover todas as peças, retirar a fita de alumínio, limpar a superfície e aplicar a tinta conforme a NRB 13245.

Foram aplicadas três demãos de tinta, resultando em uma espessura úmida de aproximadamente $63\ \mu\text{m}$, não houve aplicação na tinta na tampa que fecha a guitarra que já estava blindado com alumínio. É crucial garantir que, ao secar, toda a superfície esteja conduzindo eletricidade de uma extremidade à outra. A Figura 14 ilustra o resultado final da aplicação da tinta.

Figura 14 - Tinta condutiva aplicada por toda a superfície da cavidade interna da guitarra.



Fonte: Autoria própria (2023).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

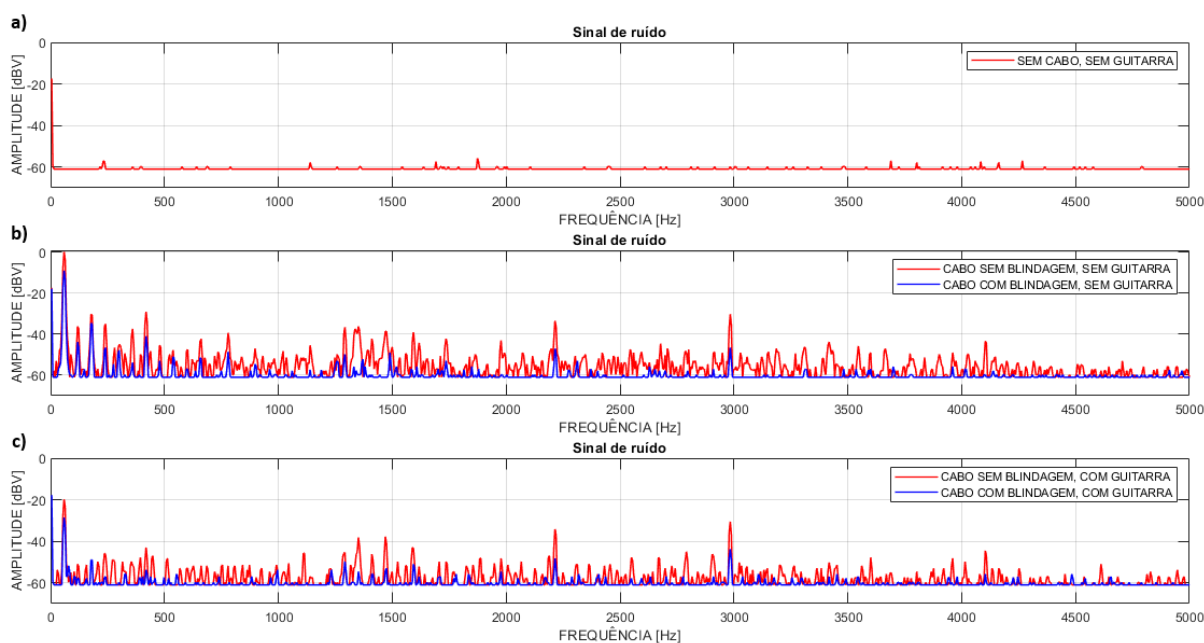
Ao iniciar o experimento e conectar o cubo amplificador à guitarra, imediatamente foi identificado a presença audível do ruído conhecido como "HUM". Este ruído serviu como ponto de partida fundamental para nossa pesquisa, onde o primeiro objetivo foi caracterizar e quantificar sua natureza.

4.1 Identificação do sinal de ruído

É importante ressaltar que o ruído sob análise é uma composição da somatória de diversas interferências eletromagnéticas, originárias tanto do próprio equipamento quanto dos cabos conectados a ele. Além disso, ruídos podem ser gerados pelo próprio amplificador utilizado. Todos esses fatores contribuem para a possível presença de ruídos indesejados no sinal de saída. Portanto, o foco da nossa análise recai exatamente sobre este sinal de saída do amplificador como o objeto de estudo principal (Donald, 1988).

Na Figura 15 abaixo, é possível observar que o sinal de ruído é claramente amplificado ao conectar o cabo com ou sem guitarra. Esse sinal indesejado é o ruído audível que pode causar desconforto quando reproduzido pelas caixas de som. É notável a alta amplitude em algumas frequências, que é o comportamento característico do sinal de ruído do nosso sistema. É importante ressaltar que as características desse sinal de ruído podem variar de uma caixa amplificadora para outra, dependendo do ambiente, dos cabos utilizados e outros fatores relevantes. Por último, vale ressaltar que a blindagem no cabo conseguiu atenuar de forma expressiva este sinal de ruído, como pode ser visto na mesma figura.

Figura 15 - FFT do sinal de saída do amplificador, a) caixa ligada, sem cabo, sem guitarra, b) cabo blindado e não blindado, sem guitarra c) cabo blindado e não blindado, com guitarra.



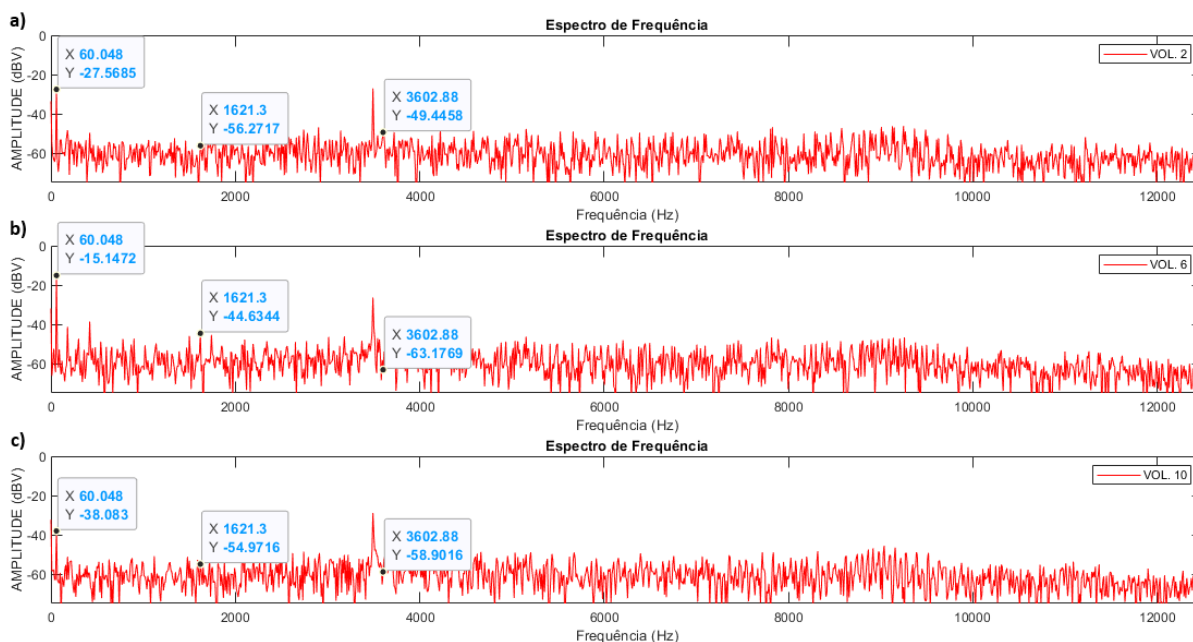
Fonte: Autoria própria (2023).

Outra observação a ser feita é que os valores de amplitude são negativos. Com a ajuda do manual do osciloscópio, pode-se obter que a FFT gerada pelo equipamento, tendo o valor em dB, é calculada em relação a uma referência de 1 Volt. Portanto, nossa unidade de medida para a amplitude de frequência é em dBV, o que significa que 0 dBV corresponde a 1 V, assim como $-20 \text{ dBV} = 0,1 \text{ V}$ e $-60 \text{ dBV} = 0,001 \text{ V}$ (Keller, 2022; Tektronix, 2023).

4.2 Estabelecimento de critérios para o experimento.

O objetivo deste estudo é identificar o espectro de frequências do nosso ruído característico. Para isso, é necessário estabelecer uma faixa de frequência que será analisada. Pensando na faixa audível, que (de 20 Hz à 20 kHz), optou-se inicialmente por uma faixa iniciada em valores DC (abaixo da menor frequência audível considerada) até 12,5 kHz. Na Figura 16, é possível observar o comportamento do nosso sinal ao longo desta faixa de frequência. É visível que após a frequência de 5 kHz, o sinal não apresenta frequências que se destacam com altos valores de amplitude, mantendo-se constante ao modificar o controle de volume entre 2, 6 e 10. Considerando esse fato, todas as demais análises foram realizadas até 5 kHz.

Figura 16 - FFT do sinal de saída do amplificador, a) sinal com volume em 2, b) sinal com volume em 6, c) sinal com volume em 10.



Fonte: Autoria própria (2023).

Também foram consideradas diversas variáveis que poderiam influenciar ou modificar o sinal de ruído conhecido. A guitarra possui controles de tom (tonalidade, timbre), volume e cinco combinações entre os captadores. O controle de tom, controle de volume e as diferentes combinações de captadores serão analisados para entender se, e como, influenciam o sinal de ruído.

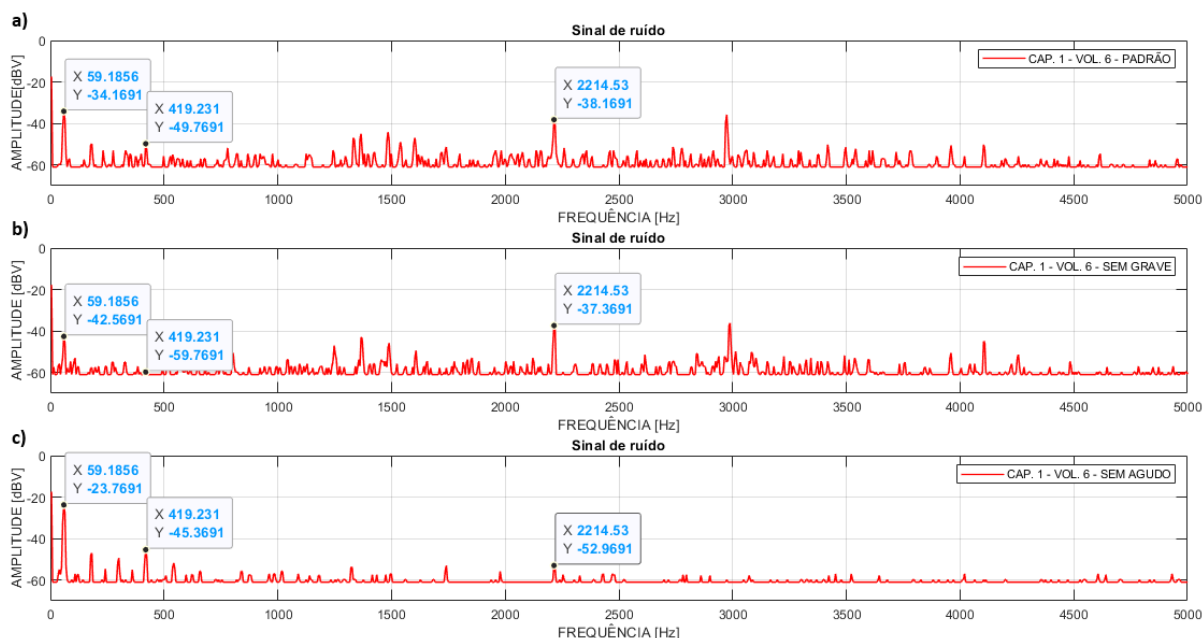
Da mesma forma, a caixa amplificadora apresenta cinco variáveis: controle de ganho, grave, médio, agudo e volume. O controle de ganho e volume têm um impacto direto na intensidade e amplitude do sinal de ruído, enquanto os controles de grave, médio e agudo atuam como filtros para diferentes faixas de frequência.

Dado que o objetivo é analisar o comportamento das componentes de frequência do ruído, foi estabelecido a configuração dos controles da caixa amplificadora para operar na metade da sua capacidade. Isso resulta na configuração de um filtro passa-faixa.

Como comprovação de que a caixa amplificadora deve operar como um filtro passa-faixa, a Figura 17 ilustra o que acontece com o sinal de ruído característico quando as frequências baixas (Grave) ou as frequências altas (Agudo) são eliminadas pela caixa amplificadora. Pode-se observar que as frequências foram significativamente atenuadas. Vale ressaltar que a análise do sinal foi realizada com

as configurações da guitarra estabelecidas com o tone no máximo, o volume no 6 e o captador na posição 1.

Figura 17 - FFT do sinal de saída do amplificador, a) sinal original (padrão), b) sinal com atenuação nas baixas frequências (grave), c) sinal com atenuação nas altas frequências (agudo).



Fonte: Autoria própria (2023).

A Figura 17, mostra a ação dos filtros de grave e agudo da caixa amplificadora atuando sobre o sinal de ruído. Dessa forma, estabelece-se manter a caixa amplificadora como elemento constante nas análises, com todos os seus controles de ganho, filtros e volume configurados à metade de sua capacidade, conforme ilustrado na Figura 18.

Figura 18 - Demonstração de posição dos controles da caixa amplificadora.



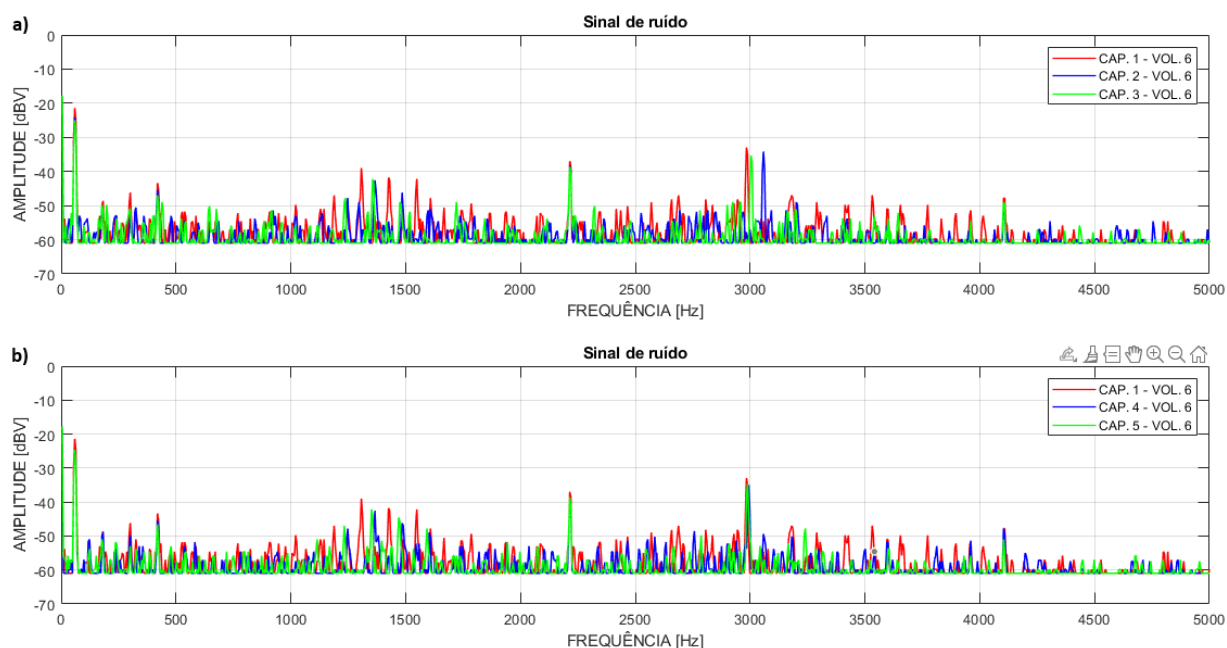
Fonte: Autoria própria (2023).

Após ser definido a configuração de filtro passa-faixa da caixa amplificadora, o próximo passo consistiu em analisar como a guitarra interage com o sinal de ruído.

Conectada à caixa, foram extraídos os sinais da guitarra em diversas condições, incluindo as variações de cada controle de tom, a exploração de todas as combinações possíveis dos captadores e, para cada configuração de captador, foram registradas as mudanças correspondentes com o controle de volume como, por exemplo, captador na posição 1, variação do volume de 2, 4, 6, 8, 10, captador na posição 2, variação do volume de 2, 4, 6, 8, 10, assim sucessivamente.

Na Figuras 19 para uma primeira análise, foi apresentado uma comparação dos sinais de ruído ao variar as configurações dos captadores de 1 a 5, mantendo o volume fixo em 6. Nessa imagem, é visível que o sinal característico do ruído, com suas componentes de frequência, mesmo diante das alterações nos captadores, se comporta da mesma maneira. Contudo, existe uma pequena variação de apenas 1 a 3 decibéis. Essa conclusão corrobora a observação anterior sobre o comportamento do controle de tom, que também não demonstrou influenciar o sinal de forma substancial.

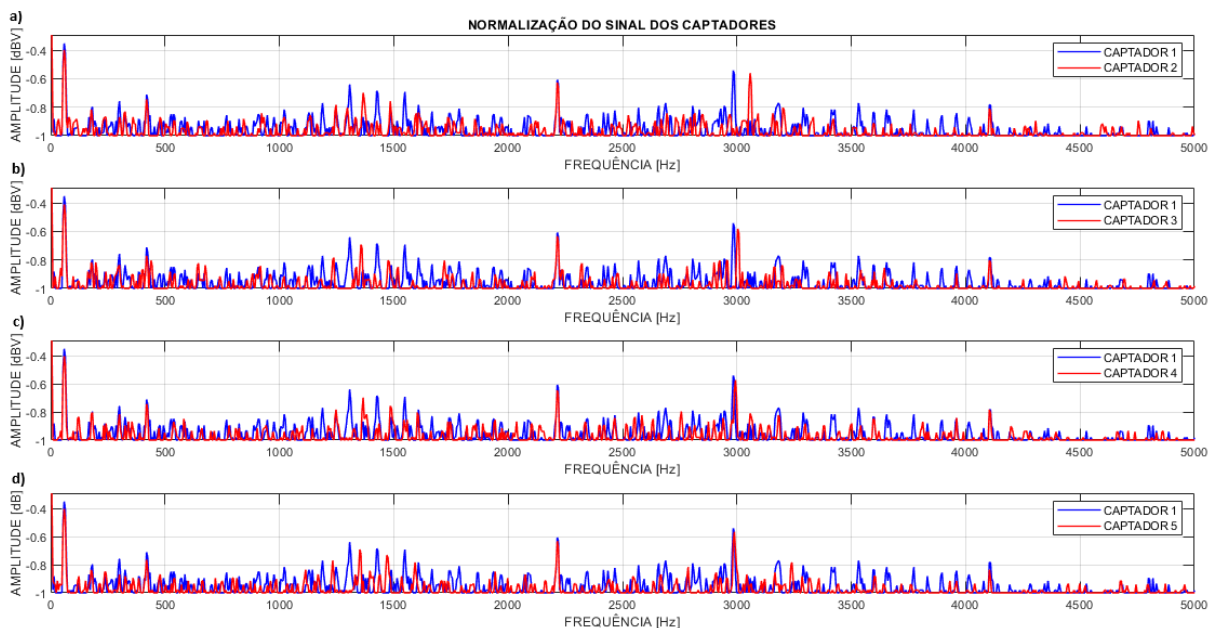
Figura 19 - FFT do sinal de saída do amplificador, a) comparação entre os captadores na posição 1,2 e 3, no volume 6, b) comparação entre os captadores na posição 1,4 e 5, no volume 6.



Fonte: Autoria própria (2023).

Para melhorar a comparação entre os sinais, o sinal em cada captador foi normalizado. E em seguida, com os sinais normalizados, o sinal do captador 1 foi comparado com todos os outros. A Figura 20 ilustra essa comparação.

Figura 20 - FFT do sinal normalizado, volume fixo em 6 a) captador na posição 1 e 2, b) captador na posição 1 e 3, c) captador na posição 1 e 4, d) captador na posição 1 e 5.



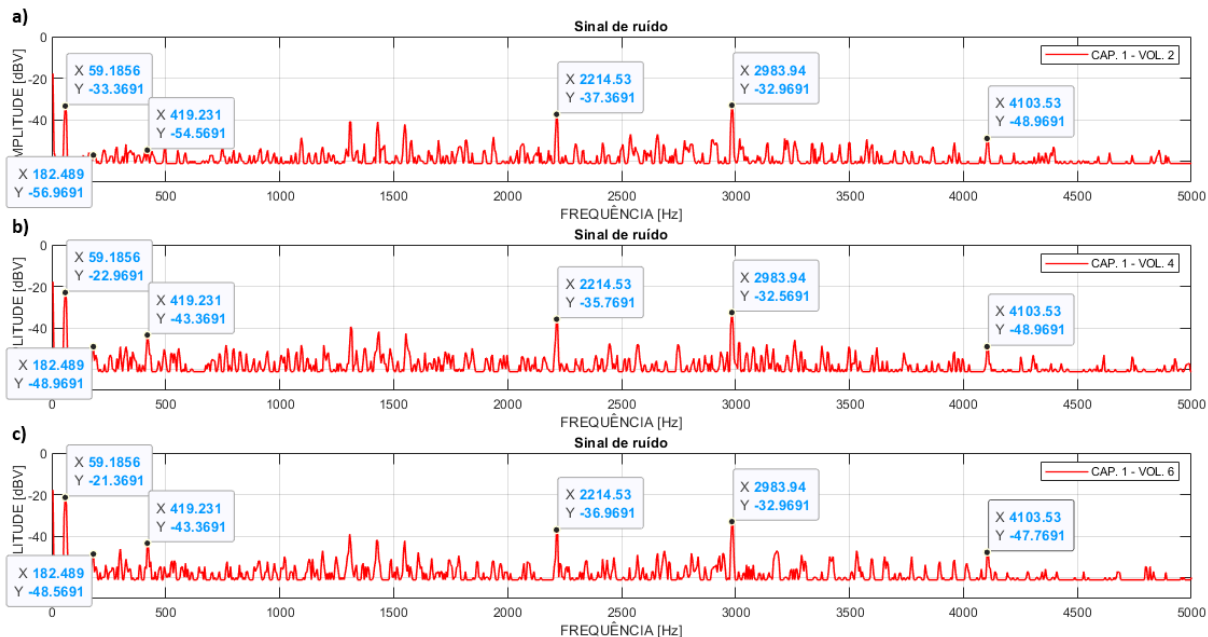
Fonte: Autoria própria (2023).

O sinal em azul representa o captador na posição 1, em comparação com todos os outros captadores, que são representados em vermelho. Foi observado que o captador 1 sempre apresenta amplitudes ligeiramente maiores do que os demais sinais.

Dentro do contexto do experimento, fica evidente que, independentemente da posição da seleção dos captadores, o sinal característico do ruído mantém o mesmo comportamento. Portanto, para simplificar as análises subsequentes, o captador 1 foi escolhido como padrão.

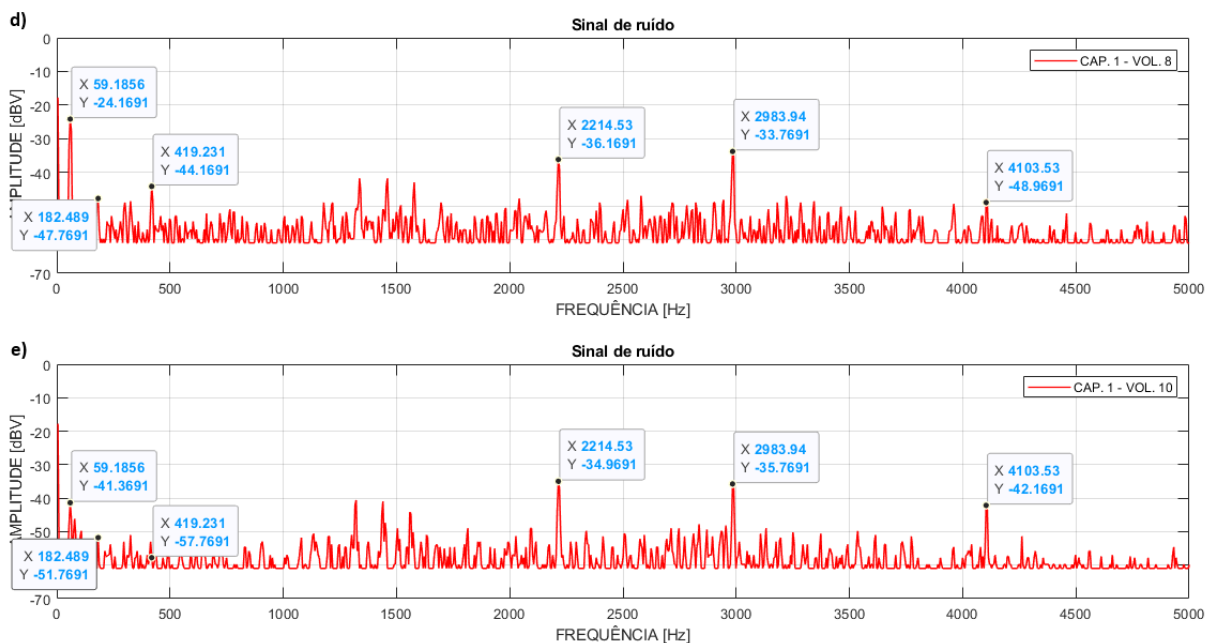
Por outro lado, o controle de volume da guitarra não apenas afeta a amplitude do sinal, mas também demonstra um comportamento não linear. Notoriamente, de forma audível, quando o potenciômetro está posicionado na faixa de volume entre 4 e 6, observa-se que o chiado (ruído) da caixa amplificadora fica mais evidente em comparação com a situação em que o potenciômetro está no máximo, na faixa de volume de 8 a 10, ou no mínimo entre 1 e 3. Para melhor análise deste comportamento, foi feita a comparação dos sinais com o volume em 2, 4, 6, 8, e 10, demonstrada nas Figura 21 e 22.

Figura 21 - FFT do sinal de saída do amplificador, captador na posição 1 a) volume em 2, b) volume em 4, c) volume em 6.



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 22 - FFT do sinal de saída do amplificador, captador na posição 1 a) volume em 8, b) volume em 10.

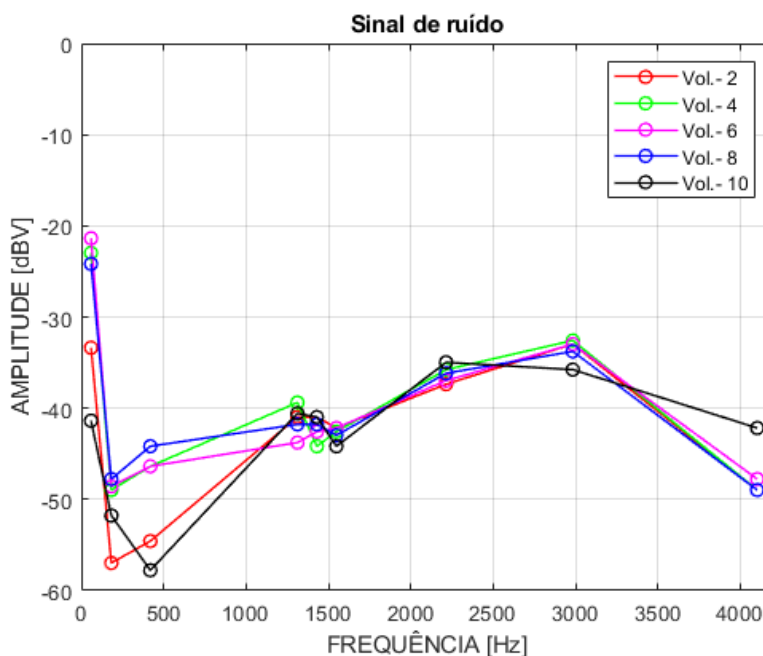


Fonte: Autoria própria (2023).

Unindo as informações das Figuras 21 e 22 em um único gráfico, enfatizando as frequências que se destacam com maior amplitude (59,1856 Hz, 182,489 Hz, 419,231 Hz, 1311,95 Hz, 1430,32 Hz, 1548,69 Hz, 2214,53 Hz, 2983,53 Hz, 4103,53

Hz). O gráfico da Figura 23 exibe a diferença de amplitude em decibéis (dB) para cada frequência, à medida que o volume varia entre 2, 4, 6, 8 e 10.

Figura 23 - FFT do sinal de saída do amplificador, captador na posição 1, volume 2, 4, 6, 8, 10.



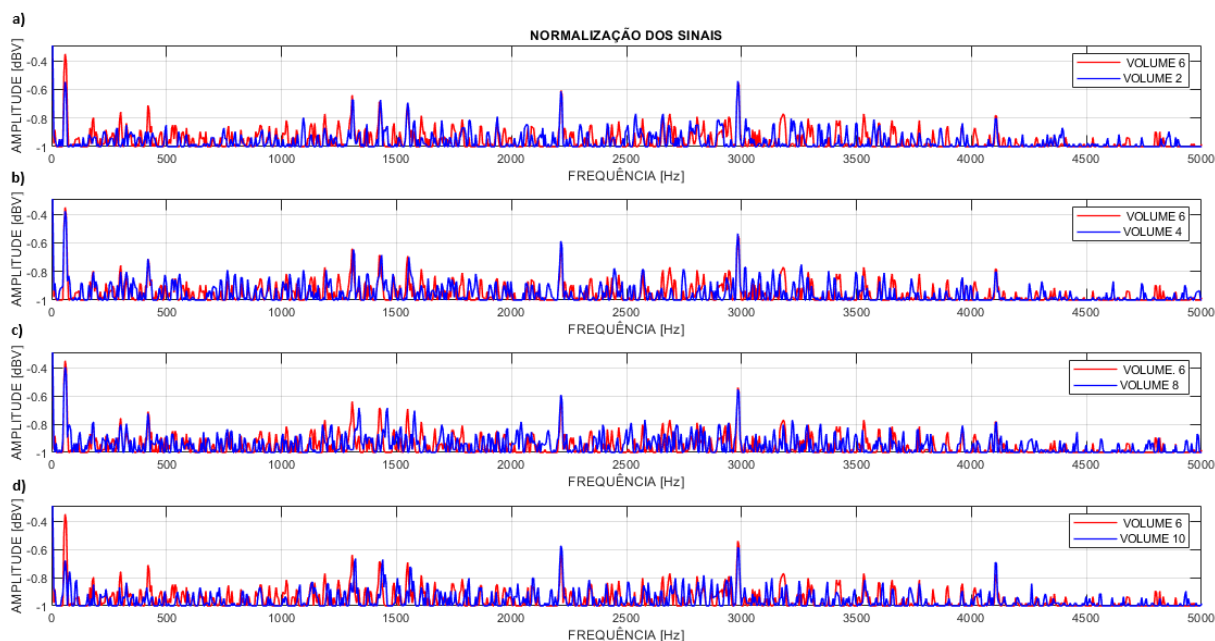
Fonte: Autoria própria (2023).

Na Figura 23 anterior, percebe-se que as frequências mais baixas (abaixo de 1 kHz), experimentam uma variação significativamente maior à medida que o controle de volume é ajustado.

Para otimizar as análises, optou-se pelo sinal com as maiores amplitudes de ruído ao longo da faixa de frequência de 5 kHz. Além disso, para que o volume escolhido tivesse sido a melhor opção, realizou-se a normalização dos sinais nos volumes 2, 4, 6, 8 e 10, conforme lustrado na Figura 24.

Considerando que o volume 6 apresenta, audivelmente, a maior intensidade de ruído, ele foi comparado com todos os outros volumes para confirmar se seu comportamento gráfico é consistente com essa observação.

Figura 24 - FFT do sinal normalizado, a) volume 6 e 2, b) volume 6 e 4, c) volume 6 e 8, d) volume 6 e 10.



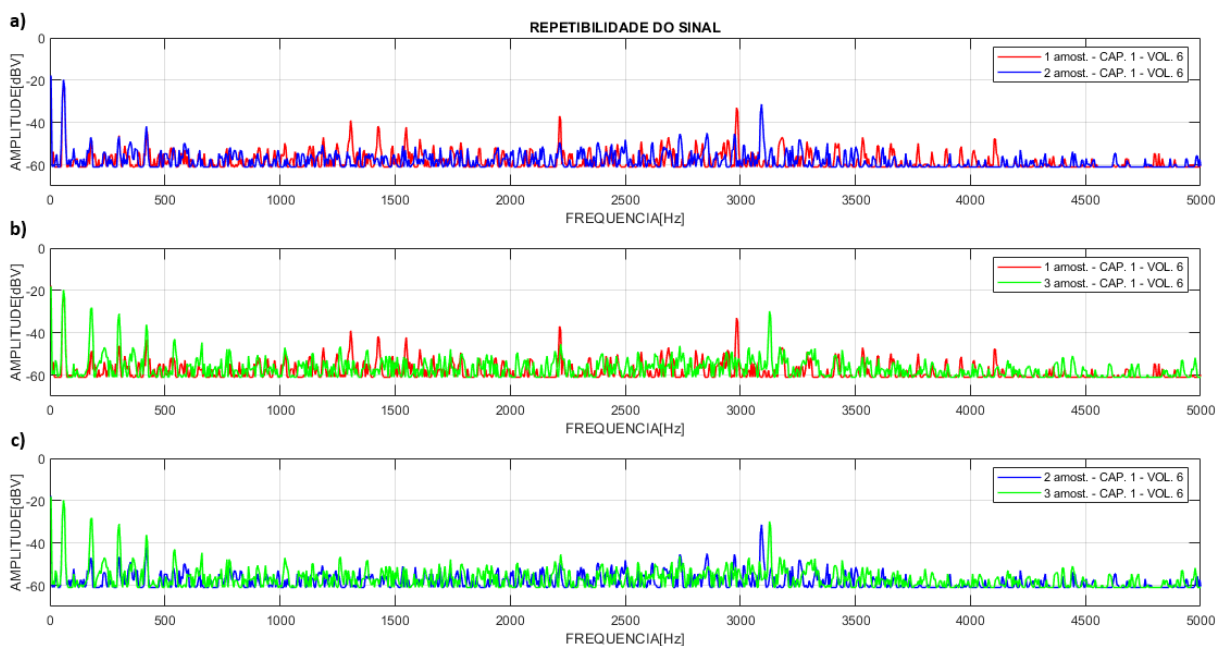
Fonte: Autoria própria (2023).

O sinal em vermelho, que representa o volume 6, se destaca em amplitude em relação aos volumes 2 e 10. Em comparação com os volumes 4 e 8, seu comportamento é bastante similar, embora algumas frequências apresentem amplitudes maiores em determinados pontos. Portanto, com base nessas observações, o volume 6 do captador na posição 1 será utilizado como referência para as análises subsequentes da pesquisa.

4.3 Repetibilidade

Foram realizadas repetições da extração de sinais nas condições do captador na posição 1, variando o volume em 2, 4, 6, 8 e 10 com o objetivo de analisar o comportamento do sinal de ruído em três amostras distintas. É importante notar que essas amostras foram coletadas em dias diferentes. A Figura 25 apresenta uma comparação das amostras do sinal no volume 6.

Figura 25 - FFT do sinal de saída do amplificador, volume 6. a) amostra 1 e 2, b) amostra 1 e 3, c) amostra 2 e 3.



Fonte: Autoria própria (2023).

Pode-se observar uma semelhança no comportamento dos sinais de ruído, embora existam variações nas amplitudes das frequências, inclusive nos valores das frequências que se destacam com maior amplitude. Porém, quando um sinal sofre interferência eletromagnética, é esperado que a amplitude das frequências do sinal varie devido a fatores ambientais e a interferências presentes no momento da aquisição dos dados. A interferência eletromagnética pode ser causada por várias fontes, como dispositivos eletrônicos próximos, cabos mal protegidos, campos magnéticos, etc.

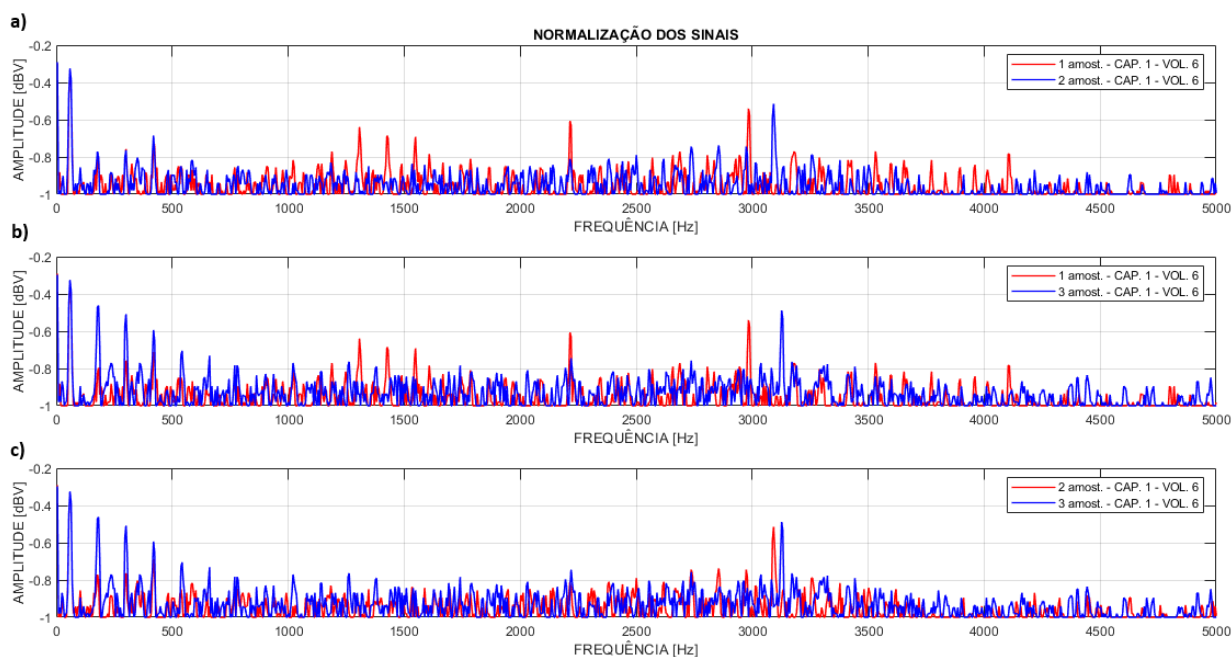
Essas interferências podem resultar em variações na amplitude das frequências do sinal, criando ruídos e distorções. É comum que as amostras de um sinal afetado por interferência eletromagnética apresentem pequenas variações na amplitude, devido a flutuações nas condições do ambiente e às características da interferência presente.

É importante notar que, até agora, todos os sinais analisados não apresentam qualquer técnica de blindagem, seja nos cabos ou na guitarra. As três amostras examinadas na figura anterior servirão como referência para os sinais obtidos da blindagem com fita adesiva de alumínio e com tinta condutiva de grafeno.

Para otimizar a pesquisa, apenas uma das três amostras em cada cenário será selecionada para comparação. A ferramenta que nos ajudará a fazer essa

escolha é a normalização do sinal. A Figura 26, mostra a normalização de três amostras do sinal da guitarra sem qualquer blindagem.

Figura 26 - FFT do sinal normalizado, a) amostra 1 e 2, b) amostra 1 e 3, c) amostra 2 e 3.



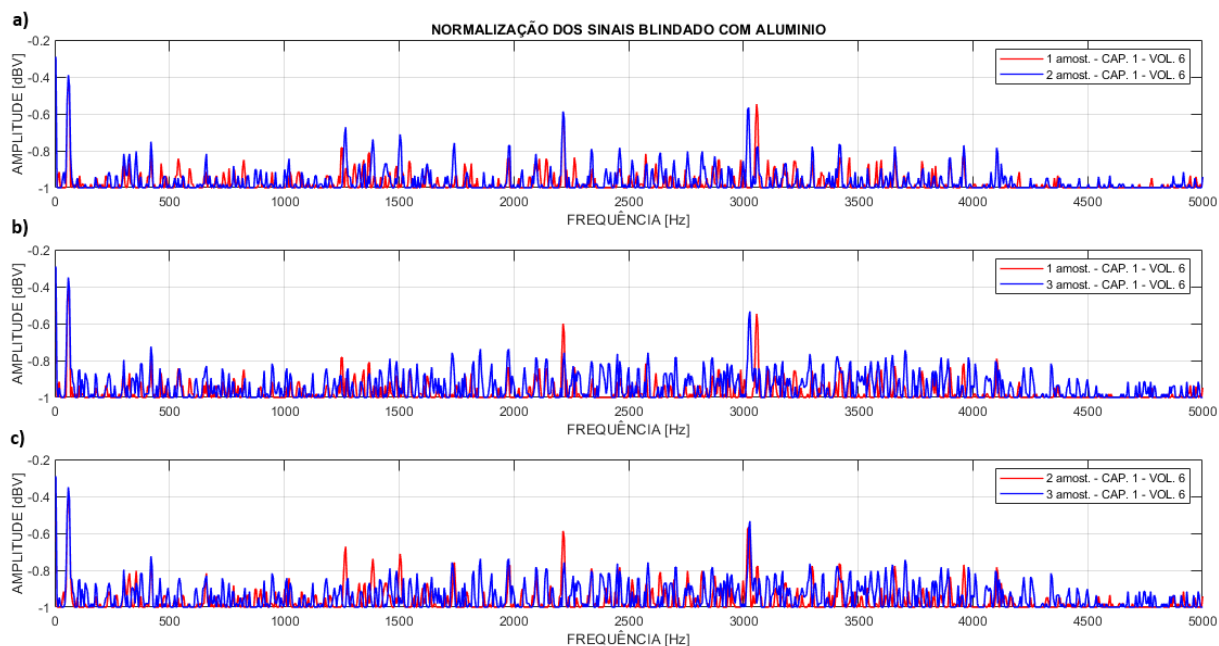
Fonte: Autoria própria (2023).

Ao analisar os sinais na Figura 26, foi escolhido a amostra 1 como referência para os demais testes. Esta escolha se deve ao fato de que a amostra 1 apresenta uma maior quantidade de frequências que se destacam com amplitudes elevadas ao longo da faixa de frequência, o intuito é justamente ter a pior informação como base.

4.4 Blindagem com Fita de Alumínio

Finalmente, com a guitarra montada e blindada, é hora de analisar o comportamento da blindagem em relação ao sinal de ruído. Usando a normalização de sinais para determinar qual amostra poderia servir como base para as comparações subsequentes, o critério desta vez foi selecionar o sinal que demonstrou a melhor atenuação com a blindagem. A Figura 27 apresenta a comparação normalizada entre as três amostras do sinal blindado com alumínio no volume 6.

Figura 27 - FFT do sinal normalizado, a) amostra 1 e 2, b) amostra 1 e 3, c) amostra 2 e 3.

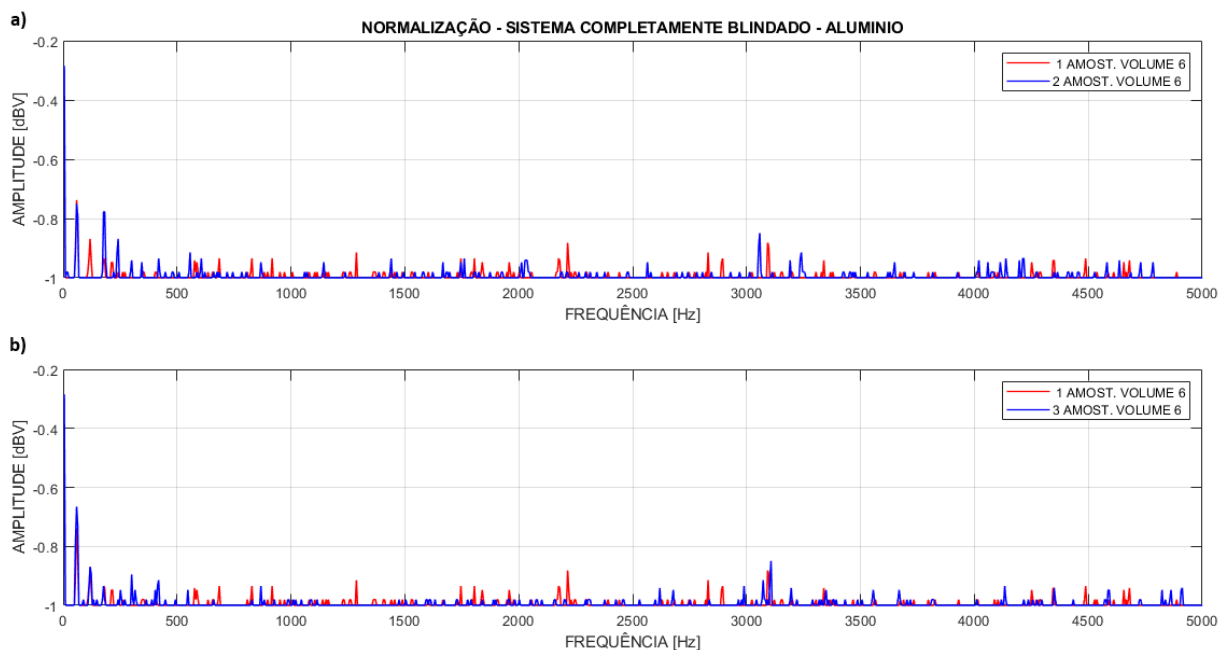


Fonte: Autoria própria (2023).

Ao analisar a figura anterior, definiu-se que a amostra de número um seria utilizada como referência para as demais análises, pois apresentou, ao longo da faixa de frequências, as menores amplitudes em relação às outras duas amostras.

A mesma análise com normalização foi feita com o sistema completamente blindado, foi escolhida a amostra número três, pois apresenta melhor as atenuações das amplitudes. A Figura 28, mostra o resultado da normalização.

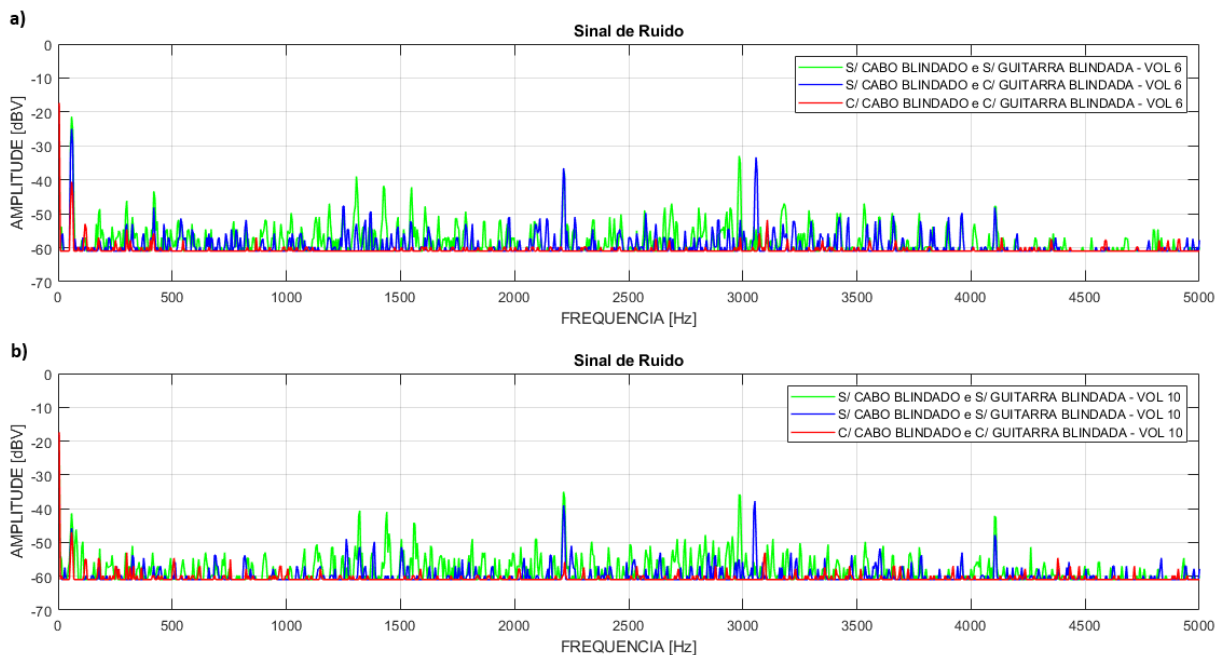
Figura 28 - FFT do sinal normalizado, a) amostra 1 e 2, b) amostra 1 e 3, c) amostra 2 e 3.



Fonte: Autoria própria (2023).

A Figura 29 apresenta o resultado da comparação entre três sinais de ruído. O sinal em verde representa um sinal sem qualquer ação de blindagem, nem no cabo, nem na guitarra. O sinal em azul demonstra o comportamento de um sinal onde o cabo não era blindado, mas a guitarra estava blindada com alumínio. Por último, o sinal em vermelho representa o resultado de um sistema completamente blindado, tanto o cabo quanto a guitarra.

Figura 29 - Resultado da blindagem de guitarra com fita adesiva de alumínio a) volume 6. B) volume 10.

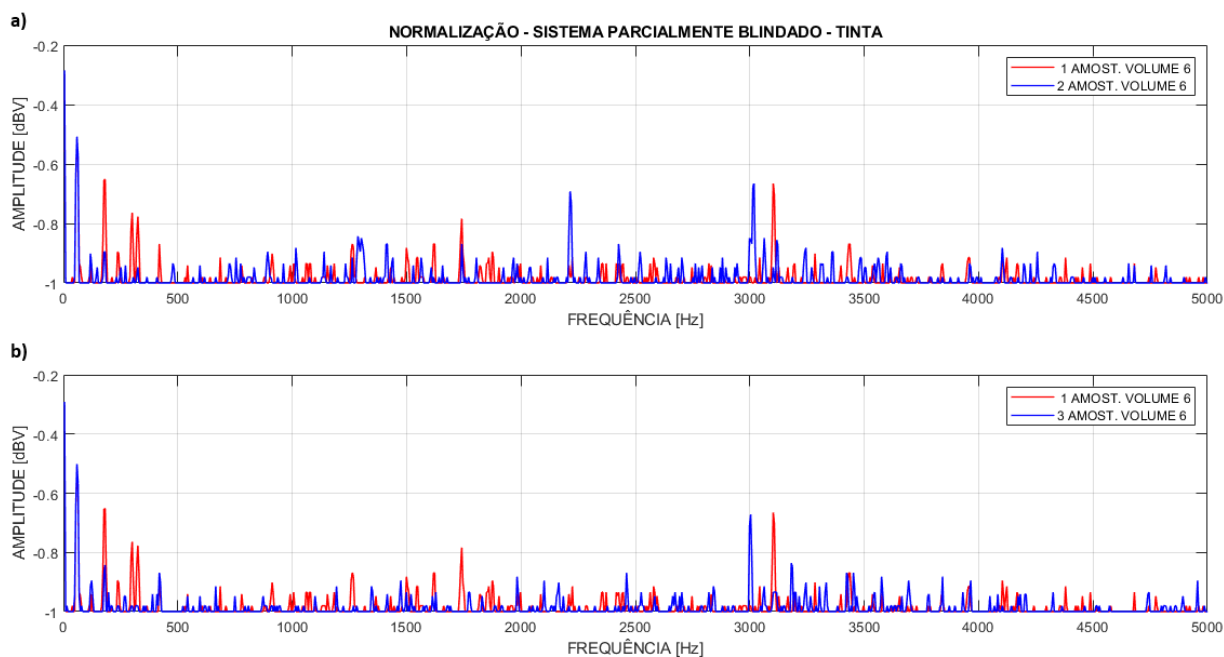


Fonte: Autoria própria (2023).

Em uma análise inicial, ao comparar o sinal em verde, que está isento de qualquer blindagem, com o sinal em azul, onde apenas o cabo não tem blindagem, observa-se uma leve atenuação nas amplitudes das frequências. Por outro lado, ao comparar o sinal sem qualquer blindagem com o sinal em vermelho, onde todo o sistema é blindado (tanto o cabo, quanto a guitarra), a diferença entre os sinais é bastante expressiva. O sinal em vermelho atenuou drasticamente a amplitude das frequências ao longo da faixa de 5 kHz. Na prática, o ruído do amplificador é quase imperceptível. Portanto, pode-se concluir que um sistema completamente blindado apresenta melhores resultados do que um sistema parcialmente blindado.

4.5 Blindagem com Tinta Condutiva

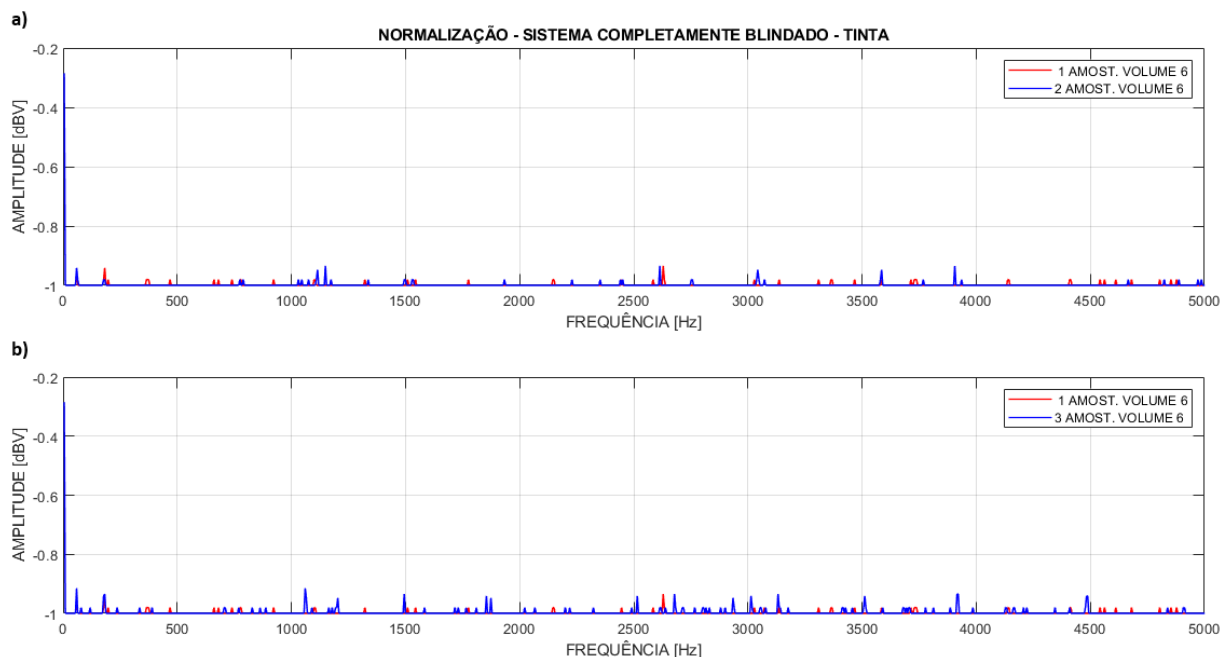
Com a guitarra montada, antes de examinar os resultados da blindagem com tinta, foram normalizadas as três amostras extraídas do sinal de ruído, sem a utilização de um cabo blindado. A Figura 30, ilustra a comparação entre os três sinais normalizados no volume 6.

Figura 30 - FFT do sinal normalizado, a) amostra 1 e 2, b) amostra 1 e 3.

Fonte: Autoria própria (2023).

Ao comparar as três amostras e adotar o critério de selecionar o sinal com os menores valores de amplitude, determinou-se que a amostra número três seria a referência para as análises subsequentes.

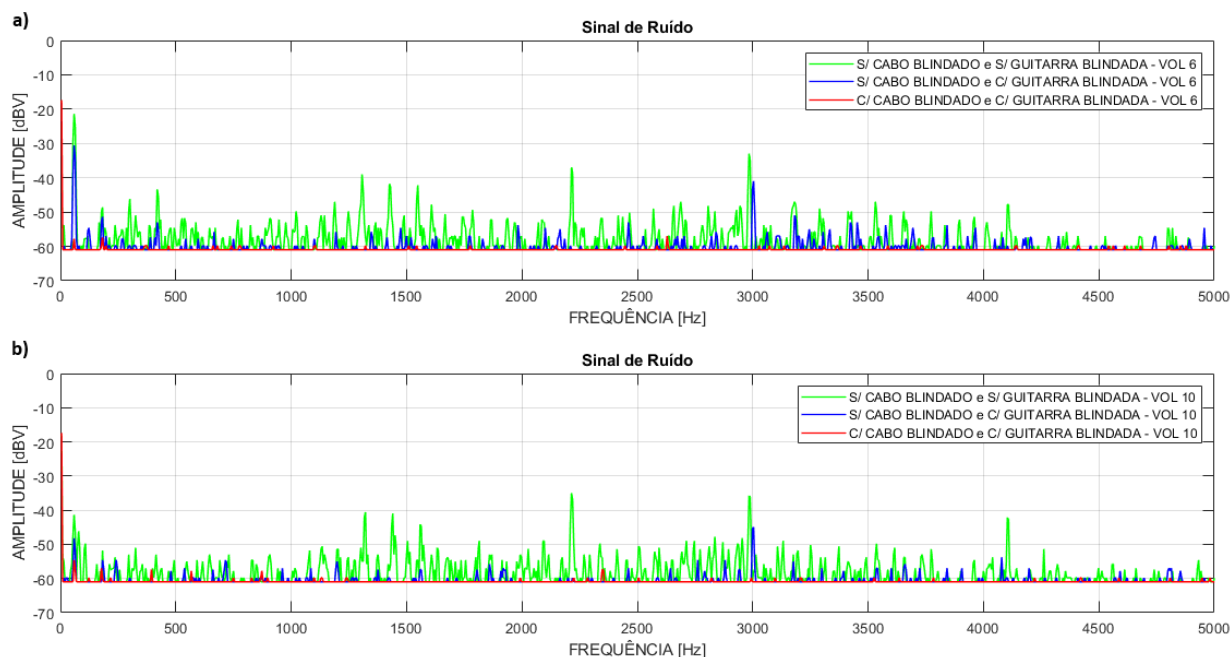
Para o sistema completamente blindado, foi feita a mesma análise com normalização. Entre as três amostras comparadas, a que apresentou melhor resolução de atenuação das amplitudes foi a amostra número três. O resultado da normalização pode ser visto na Figura 31.

Figura 31 - FFT do sinal normalizado, a) amostra 1 e 2, b) amostra 1 e 3.

Fonte: Autoria própria (2023).

Com critérios definidos, o comportamento do sinal de ruído sem blindagem em comparação com o sinal blindado utilizando tinta condutiva à base de grafeno foi analisado. A Figura 32 apresenta o resultado da comparação entre três sinais de ruído em três condições diferentes: um sinal sem blindagem, nem no cabo nem na guitarra; um segundo sinal com o cabo sem blindagem e a guitarra blindada; e, por último, um sinal de ruído onde todo o sistema blindado.

Figura 32 - Resultado da blindagem de guitarra com tinta condutiva a) volume 6. b) volume 10.



Fonte: Autoria própria (2023).

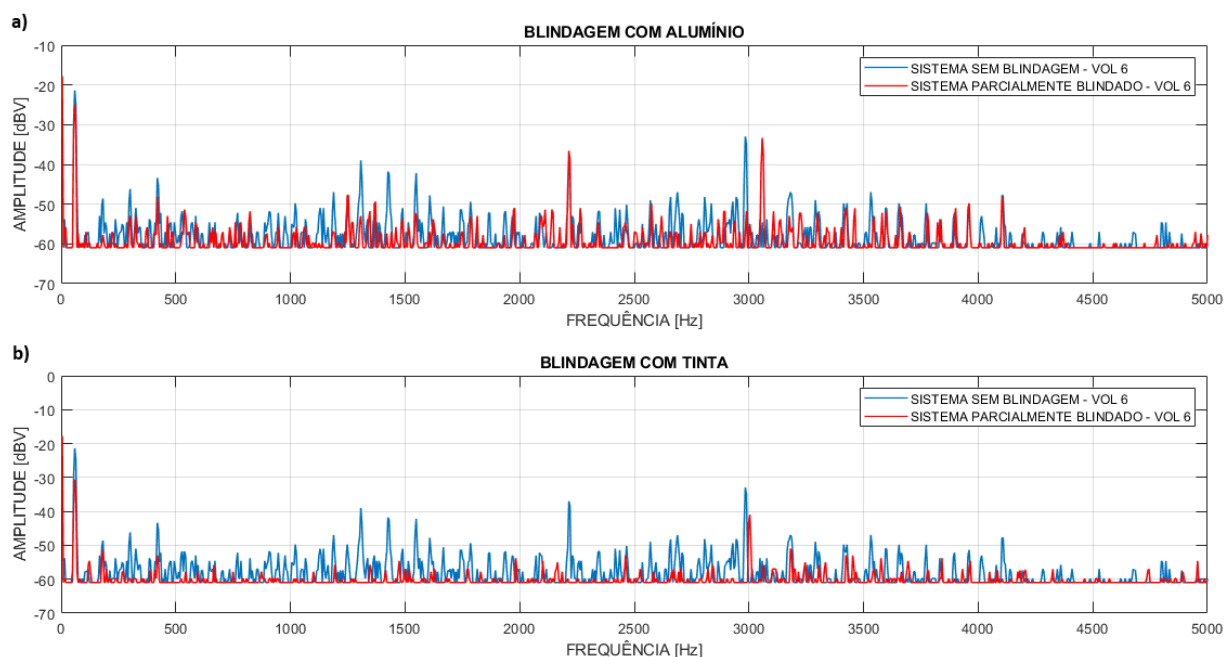
A análise segue a mesma linha daquela realizada com os resultados dos sinais da blindagem com fita de alumínio. Ao comparar o sinal sem nenhuma blindagem com o sinal que tem todo o sistema blindado, a aplicação teve uma boa resposta sobre a EMI, atenuando sobre o sinal de ruído e obtendo um resultado muito satisfatório.

No entanto, ao utilizar um sistema parcialmente blindado, onde a guitarra é blindada, mas o cabo não é, a eficiência da atenuação das amplitudes do ruído diminui consideravelmente, embora o ruído tenha sido atenuado.

4.6 Fita de Alumínio versus Tinta Condutiva de Grafeno

A comparação entre a blindagem com fita de alumínio e a tinta condutiva de grafeno teve como objetivo avaliar se a tinta possui a mesma eficiência que a técnica com fita, além de analisar seus prós e contras em outros aspectos.

Com todos os dados disponíveis, a primeira análise é ilustrada na Figura 33. Este gráfico apresenta o comportamento do sinal de ruído no volume 6 com a guitarra blindada tanto com fita de alumínio quanto com tinta condutiva de grafeno, ambas utilizando o cabo sem blindagem.

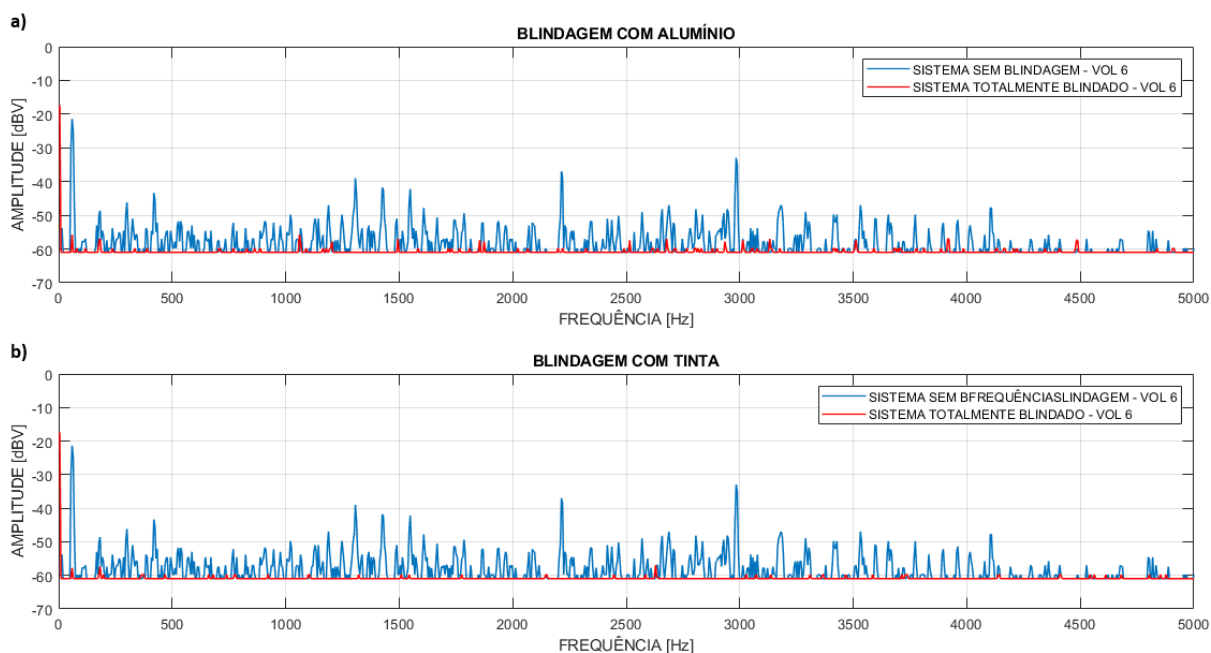
Figura 33 - Sistema parcialmente blindado, a) alumínio b) tinta.

Fonte: Autoria própria (2023).

Como pode ser observado, a blindagem com tinta condutiva demonstrou maior eficiência na atenuação das amplitudes das frequências em comparação à fita de alumínio. Vale lembrar que o sistema está parcialmente blindado, com a guitarra blindada de duas maneiras diferentes, mas foi utilizado um cabo sem blindagem.

Portanto, o gráfico acima ilustra a eficiência intrínseca do material utilizado. No entanto, se o instrumentista estiver realmente preocupado com as interferências eletromagnéticas, torna-se imperativo o uso de um cabo blindado para que se obtenha um sistema maximamente protegido, eliminando-se, ao máximo, os sinais indesejados.

O gráfico da Figura 34 ilustra essa situação, a eficiência de um sistema completamente blindado.

Figura 34 - Sistema completamente blindado, a) alumínio b) tinta.

Fonte: Autoria própria (2023).

Os sinais em azul representam um sinal sem qualquer tipo de blindagem, enquanto os sinais em vermelho representam sinais com o sistema totalmente blindado (cabo e guitarra). O que se pode observar é que tanto com alumínio quanto com tinta, em conjunto com um cabo blindado, os resultados são praticamente idênticos. Ambos atenuaram as amplitudes de frequência de forma muito eficiente ao longo da faixa de 5 kHz. Na prática, o ruído proveniente do amplificador é praticamente inaudível.

A Tabela 3 apresenta os valores de atenuação das amplitudes do sinal de ruído, em seis frequências diferentes. Tais valores de atenuação demonstra exatamente as análises anterior a respeito da eficiência dos diferentes materiais utilizado para blindagem em um sistema parcialmente blindado e completamente blindado.

Tabela 3 - Tabela com valores de atenuação do sinal de ruído

Blindagem com Fita adesiva de Alumínio						
Frequência (Hz)	59.1856 Hz	419.231 Hz	1307.01 Hz	2214.53 Hz	2983.94 Hz	4103.53 Hz
Sem blindagem	-21.3691 dBV	-43.3691 dBV	-38.9691 dBV	-36.5691 dBV	-32.3691 dBV	-48.1691 dBV
Parcialmente Blind.	-24.9691 dBV	-48.1691 dBV	-52.9691 dBV	-36.9691 dBV	-33.3691 dBV	-47.7691 dBV
Atenuação	3.6 dBV	4.8 dBV	14 dBV	0.4 dBV	1 dBV	-0.4 dBV
Blindagem com Tinta Condutiva de Grafeno						
Frequência (Hz)	59.1856 Hz	419.231 Hz	1307.01 Hz	2214.53 Hz	2983.94 Hz	4103.53 Hz
Sem blindagem	-21.3691 dBV	-43.3691 dBV	-38.9691 dBV	-36.5691 dBV	-33.3691 dBV	-48.1691 dBV
Parcialmente Blind.	-30.5691 dBV	-52.9691 dBV	-60.9691 dBV	-60.9691 dBV	-40.9691 dBV	-59.7691 dBV
Atenuação	9.2 dBV	9.6 dBV	22 dBV	24.4 dBV	7.6 dBV	11.6 dBV
Blindagem com Fita adesiva de Alumínio						
Frequência (Hz)	59.1856 Hz	419.231 Hz	1307.01 Hz	2214.53 Hz	2983.94 Hz	4103.53 Hz
Sem blindagem	-21.3691 dBV	-43.3691 dBV	-38.9691 dBV	-36.5691 dBV	-33.3691 dBV	-48.1691 dBV
Completamente Blind.	-55.7691 dBV	-60.9691 dBV	-60.9691 dBV	-60.9691 dBV	-60.9691 dBV	-60.9691 dBV
Atenuação	34.4 dBV	17.6 dBV	22 dBV	24.4 dBV	27.4 dBV	12.8 dBV
Blindagem com Tinta Condutiva de Grafeno						
Frequência (Hz)	59.1856 Hz	419.231 Hz	1307.01 Hz	2214.53 Hz	2983.94 Hz	4103.53 Hz
Sem blindagem	-21.3691 dBV	-43.3691 dBV	-38.9691 dBV	-36.5691 dBV	-33.3691 dBV	-48.1691 dBV
Completamente Blind.	-57.5391 dBV	-60.9691 dBV	-60.9691 dBV	-60.9691 dBV	-60.9691 dBV	-60.9691 dBV
Atenuação	36.17 dBV	17.6 dBV	22 dBV	24.4 dBV	27.4 dBV	12.8 dBV

Fonte: Autoria própria (2023).

5 CONCLUSÃO

A escolha do tema para esta pesquisa foi motivada pelo estudo de uma das muitas aplicações da tinta condutiva. Uma dessas aplicações é a proteção contra EMI em guitarras elétricas. Para alcançar o objetivo final, foram realizados estudos sobre o conceito de interferência eletromagnética e suas implicações nos instrumentos musicais. Além disso, foram levantados os procedimentos necessários para comprovar os conceitos teóricos.

Este estudo buscou avaliar a eficiência da tinta condutiva de grafeno na realização de uma blindagem de EMI. Para enriquecimento do estudo, a técnica com a tinta foi comparada com a blindagem utilizando fita adesiva de alumínio. Antes e depois da blindagem, foram analisados os espectros de frequências do sinal de ruído causado pelas interferências eletromagnéticas, utilizando os dois tipos de materiais. Observou-se que ambos os materiais resultaram em uma atenuação satisfatória do ruído indesejado.

Durante os testes, foram levantados alguns cenários diferentes, como a utilização de cabo blindado e sem blindagem, fazendo combinações com guitarra sem blindagem, e blindada com tinta e com fita. Por fim, uma das descobertas foi que se pôde observar uma eficiência expressivamente maior ao utilizar um sistema totalmente blindado, com cabo e guitarra blindada, do que ao utilizar um sistema parcialmente blindado, ou somente um cabo blindado, ou somente a guitarra blindada contra as interferências.

Com base nos resultados obtidos, concluiu-se que a técnica de blindagem em guitarra, tanto com tinta condutiva de grafeno quanto com fita adesiva de alumínio, mostrou-se eficaz. A blindagem aplicada à cavidade da guitarra, juntamente com a técnica de aterramento, reduziu bastante o ruído indesejado. Contudo, a técnica com tinta condutiva mostrou-se mais eficaz em relação ao alumínio, não somente na atenuação do ruído, mas também na praticidade e na confiabilidade de uma aplicação de blindagem mais segura e eficiente.

Para realizar a técnica com fita adesiva de alumínio, foi preciso fazer recortes da fita para cobrir toda a cavidade da guitarra, o que resultou em muito trabalho e levou um tempo muito superior à aplicação da tinta. Além disso, havia o risco de existirem pequenas fissuras entre as fitas, o que poderia diminuir a eficiência da blindagem. Já a tinta foi de aplicação rápida, fácil e mais segura.

Para futuros trabalhos nesta área, sugere-se fazer o levantamento de mais cenários para realização dos testes, como ter um ambiente controlado, onde se sabe quem são os emissores das interferências eletromagnéticas.

REFERÊNCIAS

- ABNT NBR 13245, tintas para construção civil: execução de pinturas em edificações não industriais: preparação de superfície. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.
- ABNT NBR ISO 2808, tintas e vernizes: determinação da espessura da película. Vernier: ABNT, 2019.
- ABNT NRB 10520: informação e documentação: citações em documentos: apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.
- ABNT NRB 6023: informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.
- AFONSO, Antônio Pereira; FILONI, Ênio. **Eletrônica**: circuitos elétricos. São Paulo, 2011. 219 p. Disponível em: https://acervo.uniarp.edu.br/wpcontent/uploads/livros/5ca0e9_5384803342a54f019ea69e70f6534c3.pdf. Acesso em: 7 abr. 2023.
- ARAVANIS. L. Alexandros. **Blindagem Eletrostática e Dissipação da Carga Estática em um substrato Isolante Elétrico com Filmes de Polímero Intrinsecamente Condutor**. Dissertação para obtenção do título de Mestre em Engenharia na área de Ciência e Tecnologia dos Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 96 p. Porto Alegre, 2019.
- AZEVEDO, Felipe Dias de. **Análise do acoplamento corda-braço em uma guitarra elétrica e sua relação com o timbre do instrumento**. Monografia (Graduação), curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual do Maranhão, 38 p. São Luís, 2018.
- BAUER, Wolfgang; WESTFALL Gary D.; DIAS Helio. **Física para universitários**: eletricidade e magnetismo, 2012.
- BERNI, A. Existem soluções para guitarras com ruídos? Santo Angelo, 2015. Disponível em: <https://blog.santoangelo.com.br/existem-solucoes-para-guitarras-com-ruídos/>. Acesso em: 23 abr. 2023.
- BIANCHIN, Victor. **Como funciona uma guitarra?** Super Abril, 2011. Disponível em: <https://super.abril.com.br/mundo-estranho/como-funciona-uma-guitarra/>. Acesso em: 13 abr. 2023.

BRAGA, Newton C. **Amplificadores de Áudio**. [s.n.], 1986. 76 p. Disponível em: <https://www.newtonbraga.com.br/index.php/livros-para-downloads/3262-livro-amplificadores-de-audio>. Acesso em: 16 abr. 2023.

DAL, Rafael. **Análise de compatibilidade Eletromagnética em um Conversor Estático**. Trabalho de conclusão de curso, Tecnólogo em Eletrônica Industrial, Instituto Federal De Educação, Ciência E Tecnologia De Santa Catarina. 72 p. Florianópolis, 2019.

DONALD, R. J. and MARDIGUIAN, Michel, **Electromagnetic Shielding**. In: Interference Control Technologies Virginia: Gainesville, 1988;

FARIA, Géssica Seara; LIMA, Andreza Menezes; BRANDÃO, Luiz Paulo; COSTA, Alberto Pessoa da; NARDECCHIA, Stefania; RIBEIRO, Alexandre Antunes;

PINHEIRO, Wagner Anacleto. **Produção e caracterização de óxido de grafeno e óxido de grafeno reduzido com diferentes tempos de oxidação**. Matéria (Rio de Janeiro), [S.L.], v. 22, n. 1, p. 1-9, 8 jan. 2018. FapUNIFESP (SciELO).

<http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620170005.0254>

FERRARI, Andrea C.; BONACCORSO, Francesco; FAL'KO, Vladimir; NOVOSELOV, Konstantin S.; ROCHE, Stephan; BØGGILD, Peter; BORINI, Stefano; KOPPENS, Frank H. L.; PALERMO, Vincenzo; PUGNO, Nicola. **Science and technology**

roadmap for graphene, related two-dimensional crystals, and hybrid systems.

Nanoscale, [S.L.], v. 7, n. 11, p. 4598-4810, 2015. Royal Society of Chemistry (RSC). <http://dx.doi.org/10.1039/c4nr01600a>

FONSECA, José Melo de Assis. **Amplificadores valvulados para guitarra elétrica: história, teoria e construção**. 1. ed. 2013. 346 p, Brasília, 2013. Disponível em: <https://dokumen.tips/documents/amplificadores-valvulados-para-guitarra.html?page=2>. Acesso em: 7 abr. 2023.

GLENNAPTS, River. **Elementos de circuito elementos passivos ativos de circuito elétrico**. Disponível em: <https://riverglennapts.com/pt/circuit-and-network/167-circuit-elements-8211-active-passive-elements-of-electrical-circuit.html#:~:text=Os%20elementos%20do%20circuito%20que%20recebem%20energia%20%28ou,campo%20magn%C3%A9tico%20s%C3%A3o%20chamados%20elementos%20de%20circuito%20passivos>. Acesso em: 13 abr. 2023.

KELLER, Reto B. **Design for Electromagnetic Compatibility–In a Nutshell: Theory and Practice**. 2022. Disponível em: <file:///C:/Users/geane/Downloads/978-3-031-14186-7.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2023.

KRUGER, Tarcísio P. **AULA 2 - Eletrostática**. Técnico em mecânica. Instituto Federal de Santa Catarina. 71 p. Santa Catarina, 2017. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/579457964/Curso-Tecnico-EmMecanica-ELETRICIDADE-02-Eletrostatica>. Acesso em: 13 abr. 2023.

LEMOS, Everton. **INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA**. Disponível em: <https://techativ.com.br/2019/eletronicos/interferencia-eletromagnetica/>. Acesso em: 12 set. 2023.

LIMA, M, Lourdinha. **Sistema de classificação dos instrumentos musicais**. Curso técnico de nível médio em multimídia na forma integrado, Instituto Federal De Educação, Ciência E Tecnologia Do Rio Grande Do Norte – IFRN. Disponível em: https://www.academia.edu/44792137/INSTITUTO_FEDERAL_DE_EDUCA%C3%87%C3%83O_CI%C3%84NCIA_E_TECNOLOGIA_DO_RIO_GRANDE_DO_NORTE_IFRN. Acesso em: 5 mai. 2023.

LOBÃO, Bruno. **Blindagem (Ou "Shielding")**. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: Bruno Lobão - Luthier: Blindagem (Ou "Shielding") (brunolobaoluthier.blogspot.com). Acesso em 23-abr-2023.

LOPEZ, Mareo. **Dicas de guitarra: Lidando com o ruído EMI**. 2016. Disponível em: <https://proaudioland.com/news/dealing-emi-electro-magnetic-interference/>. Acesso em: 23 abr. 2023.

LUTHERIA do zero. **Eletrônica para instrumentos musicais para luteria**. Disponível em: <https://sejaumluthier.com/electronica-para-instrumentos-musicais/>. Acesso em: 13 abr. 2023.

MAGALHÃES, Gustavo. **Efeitos digitais para guitarra elétrica**. Monografia (graduação), curso em Engenharia de Computação, Centro Universitário de Brasília. Brasília, 2011, 58 p.

MAY, Paulo. **Louco por guitarra**. Disponível em: Louco Por Guitarra: CAPTADOR DE GUITARRA (conceitos básicos) (guitarra99.blogspot.com). Acesso em: 16 abr. 2023

MELO, Maria Victória de Brito; MANIA, Edrian; SILVA, Ernando Ferreira3; **Fabricação de uma tinta condutiva com nanotubos de carbono**. Trabalho de iniciação científica, Licenciatura em física. UEFS. Bahia, 2021.

MOUSER, electronics. Disponível em: <https://br.mouser.com/ProductDetail/Bourns/PDB241-GTR01-105A2?qqs=U%2FacTlguYxYg7sSW%2F0ktyA%3D%3D>. Acesso em: 3 out. 2023.

- MUGNOL, Fabíula. **O que são instrumentos musicais?** FM Escola de Música.2022. Disponível em: O que são instrumentos musicais? (fmescolademusica.com.br). Acesso em: 13 abr. 2023. NUSSENZVEIG, H. Moysés. **Curso de física básica, 3:** eletromagnetismo. 2 ed., Blucher, 2015.
- OLIVEIRA, R. B Oswaldo. **TRANSFORMADA DE FOURIER (Capítulo 1 - Introdução)**. Departamento de Matemática Universidade de São Paulo, 2015. Disponível em: <https://www.ime.usp.br/~oliveira/ELE-Fourier1.pdf>. Acesso em: 14 set. 2023.
- ORLITA, M; POTEMSKI, M. **Dirac electronic states in graphene systems: optical spectroscopy studies. Semiconductor Science and Technology**, [S.L.], v. 25, n. 6, p. 063001, 30 abr. 2010. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/0268-1242/25/6/063001>
- PAUL, Clayton R. **Introduction to electromagnetic compatibility**. 2. Ed. Hoboken, New Jersey: Wiley-Interscience, 2006
- PAVAN, Theo e CARNEIRO, Adilton. **Transformada de Fourier**. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4991040/mod_resource/content/0/Transformada%20de%20Fourier-V2.pdf. Acesso em: 14 set. 2023.
- PEREIRA, João Paulo Silva de Mattos. **Implementação de pedais de efeito para guitarra**. 2020. 97 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2020.
- RADAELLI, Rodrigo Alexandre. **Guitarra auto-afinável**. Monografia (graduação), curso Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul, 2010,100 p.
- RANGEL, F. Rodrigo. **Transformada de Fourier em Visão Computacional**. 2021. Disponível em: <https://medium.com/turing-talks/transformada-de-fourier-b1775e891cc5>. Acesso em: 15 set. 2023.
- SCHLICHTING, L. C. M. **Contribuição ao estudo da compatibilidade eletromagnética aplicada aos conversores estáticos**. Programa de pós-graduação de engenharia elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2003.
- SELF, Douglas. **Small signal audio design**. 2. ed. Focal Press, 2015.
- SEVERINO, Felipe Z. **Contribuição ao estudo da interferência eletromagnética em sistemas fotovoltaicos autônomos**. Trabalho de Conclusão de Curso Universidade Federal de Santa Catarina, graduação em engenharia elétrica. p. 67. Florianópolis, 2018.

TECNOLOGIA, Aton. **Entenda a diferença das chaves seccionadora e seletora.** Disponível em: <https://www.atontecnologia.com.br/entenda-a-diferenca-das-chaves-seccionadora-e-seletora/>. Acesso em: 16 abr. 2023.

TEKTRONIX. **TDS1000B and TDS2000B Series:** Digital Storage Oscilloscopes, User Manual. Disponível em: <https://download.tek.com/manual/071181702web.pdf>. Acesso em: 31 out. 2023.

VCH, Wley. **Advanced Materials: A Self-healing Conductive Ink.** Vol. 24 • 2012. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/adma.201200196>. Acesso em: 16. abr. 2023.

WALKEY, Sol Petrus da Silva Praia. **Desenvolvimento de tinta condutiva a base de carbono (negro de fumo) para impressão de trilha elétrica.** Trabalho de conclusão de curso, Engenharia Elétrica, 46 p. Manaus, 2021.

YOUSIF, Q. A., 2017. **Nanotechnology: Theory, application and explanation of the most important devices used.** no. February, doi:

10.13140/RG.2.2.35847.91045. FERREIRA, O. P., 2004. Nanotubos de Carbono: Preparação e Caracterização, Inst. Química, no. Figura 1, p. 38.

APÊNDICE A - Código

Código

As análises dos sinais foram desenvolvidas no *software* Matlab, onde os arquivos “.CSV” das amostras dos sinais, foram ajustados para que pudessem ser plotados em gráficos e também para serem feitas as demais manipulações, como a normalização do sinal. O trecho do código apresentado na Figura 37, é uma demonstração da estrutura e utilização de funções do Matlab. Todos os sinais acima foram manipulados no mesmo padrão deste código.

```

% Autora: Geane Magalhães Reis
clear all; clc; close all;
path = "C:\\Users\\geane\\OneDrive\\Área de Trabalho\\TCC2\\TESTE COM SINAIS\\Blindagem Tinta\\CABO
BLINDADO\\";
%----- Tinta-----
%COM CABO BLINDADO E COM GUITARRA BLINDADA

file3 = "CAP_1_CH2_COM_GUITARRA_VOL_6.csv";
file3_path = strcat(path,file3);
data3 = csvread(file3_path,3,0);
tempo3 = data3(:,1);
amp3 = data3(:,2);

%----- SISTEMA SEM BLINDAGEM-----
% SEM CABO BLINDADO e SEM guitarra BLINDADO

file11 = "CAP_1_CH2_COM_GUITARRA_VOL_6.csv";
file11_path3 = strcat(path3,file11);
data11 = csvread(file11_path3,3,0);
tempo11 = data11(:,1);
amp11 = data11(:,2);
% -----
figure(1)
plot(tempo11,amp11,tempo5,amp5,"R",'LineWidth', 1)
LineWidth = 2;
title('BLINDAGEM COM ALUMÍNIO')
ylim([-70 0])
xlim([0 5000])
xlabel('FREQUÊNCIA [Hz]')
ylabel('AMPLITUDE [dB]')
legend('SISTEMA SEM BLINDAGEM - VOL 6','SISTEMA TOTALMENTE BLINDADO - VOL 6')
grid on;

% Método 1: Normalizar dividindo pela amplitude máxima
normalized_amp3 = amp3 / max(abs(amp3));
normalized_amp11 = amp11 / max(abs(amp11));
normalized_amp5 = amp5 / max(abs(amp5));

figure(2)
plot(tempo3,normalized_amp3,"red",tempo11,normalized_amp11,"blue",tempo5,normalized_amp5,"
g"'LineWidth', 1)
title('NORMALIZAÇÃO');
xlim([0 5000])
xlabel('FREQUÊNCIA [Hz]')
ylabel('AMPLITUDE [dB]')
grid on;

```

Fonte: Autoria própria (2023)