



Universidade de Brasília

FACULDADE UNB PLANALTINA

A FÍSICA DO CANTO

AUTOR: Carlos Henrique Pereira Landim

ORIENTADOR: Prof. Dr. Paulo Eduardo Brito

Planaltina - DF

Fevereiro 2025



Universidade de Brasília

FACULDADE UnB PLANALTINA

CIÊNCIAS NATURAIS

A FÍSICA DO CANTO

AUTOR: Carlos Henrique Pereira Landim

ORIENTADOR: Prof. Dr. Paulo Eduardo Brito

*Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Banca Examinadora,
como exigência parcial para a
obtenção de título de Licenciado do
Curso de Ciências Naturais, da
Faculdade UnB Planaltina, sob a
orientação do Prof. Dr. Paulo Eduardo
Brito*

Planaltina - DF

Fevereiro 2025

DEDICATÓRIA

A Física do Canto

RESUMO

Este trabalho buscou evidenciar como a Física pode ser ensinada de forma mais envolvente ao ser integrada a temas do cotidiano, como o canto. A pesquisa envolveu a análise de três vozes, dois cantores profissionais e um amador, utilizando o software Audacity, que permitiu a emissão de espectros de frequência. A partir dessa análise, foi possível identificar fenômenos físicos como a frequência fundamental, os harmônicos e o timbre, além de explorar a ressonância e a propagação sonora, elementos essenciais para a compreensão do som produzido pela voz humana. Ao unir música e ciência, este trabalho reforça a importância de conectar a Física a experiências próximas da realidade dos alunos, promovendo um aprendizado mais dinâmico e interessante. A proposta promove a compreensão de conteúdos teóricos e estimula a curiosidade e o engajamento, mostrando que a ciência está presente em aspectos cotidianos e culturais da vida.

INTRODUÇÃO

A voz humana pode ser considerada o primeiro instrumento musical do planeta por conta da capacidade de produzir sons musicais como melodias e pulsos rítmicos sonoros. As pregas vocais além de ser um fator crucial para a linguagem de todas as civilizações humanas desde os primeiros séculos, elas também foram usadas como os primeiros instrumentos na arte da música.

O canto é uma arte musical que acompanhou todos os momentos da história humana, como rituais, cerimônias religiosas, manifestações culturais e entretenimento. Tendo em vista esse fato, não há registros de quando o homem começou a produzir as primeiras notas na voz. “Cantar é uma expressão tão antiga que é impossível datar a partir de quando o homem começou a imprimir melodia na voz para comunicar-se ou traduzir emoções e sentimentos” (Degani; Mercadante, 2010, p. 150).

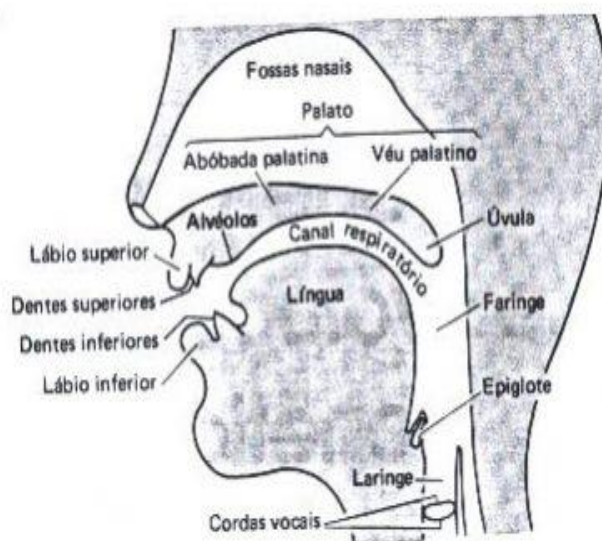
O canto é uma forma de expressão musical produzida pela voz humana, em que sons são entoados de maneira melódica, rítmica e harmônica. Cantar envolve a coordenação dos músculos respiratórios, como o diafragma e os intercostais, e as vibrações das cordas vocálicas que produzem sons em forma de notas musicais. Como uma das formas mais antigas de música, o canto abrange diferentes estilos e técnicas, desde o canto lírico até o popular, refletindo a diversidade cultural e emocional da humanidade.

A motivação para realizar essa pesquisa surgiu da minha vivência no universo musical e no campo das ciências, áreas que se complementam e mostram o potencial de abordagens interdisciplinares para o ensino. O canto, além de ser uma manifestação artística acessível e universal, oferece um cenário ideal para ilustrar conceitos físicos de maneira prática, como a vibração das pregas vocais e a interação do som com o trato vocal. Portanto, o objetivo desse trabalho foi analisar de três vozes, dois cantores profissionais e um amador, utilizando do software Audacity.

REFERENCIAL TEÓRICO

A voz humana é o resultado do funcionamento do aparelho fonador ou o sistema fonador que de acordo com Fukuyama (2001) é constituído pelo aparelho respiratório, laringe (onde se situa as pregas vocais) e trato vocal composto por sistema ressonador composto pela faringe, boca e nariz (Figura 1). “O fluxo aéreo respiratório, ao passar pelos ciclos de abertura e fechamento das pregas vocais, constituirá uma vibração que irá ressonar pelo trato vocal” (Fukuyama, 2001, p. 777).

Figura 1- A anatomia do aparelho fonador.



Fonte: Knoow.net

Tendo em vista o funcionamento da voz, o aparelho sonoro permite a produção de sons em forma de notas musicais que são ondas sonoras com frequência definidas. Do ponto de vista musical, de acordo com Adolfo (2002), o som é composto por quatro elementos os quais são: altura, duração, timbre e intensidade. A altura é a capacidade do som ser mais grave ou mais agudo (podemos perceber essa propriedade nas vozes de tom grave ou agudo) de acordo com sua frequência. A duração é o tempo em que o som da voz, de um instrumento ou qualquer fonte sonora se prolonga,

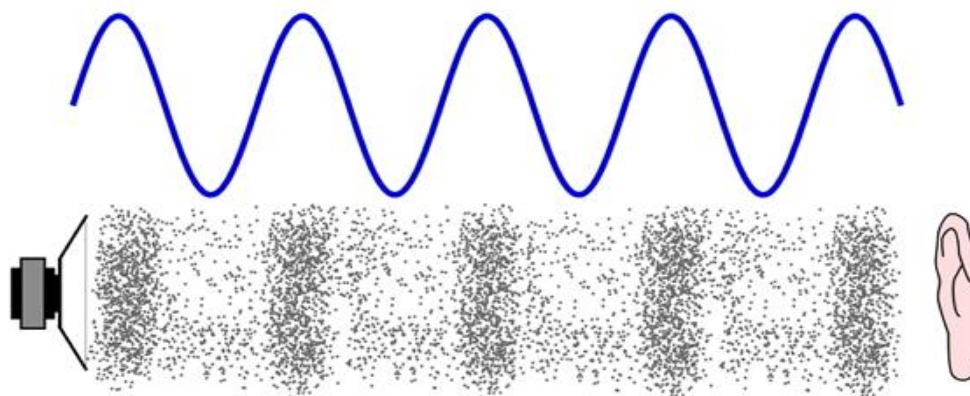
O timbre é o perfil sonoro ou como diz Adolfo (2002), é o colorido sonoro obtido a partir da emissão de um som. Trazendo para o campo vocal, cada pessoa tem um timbre ou uma “cor sonora”, e do ponto de vista da física, o timbre pode ser definido como o perfil de onda sonora produzido. Por fim, a intensidade é a capacidade de um som ser mais forte ou mais suave que fisicamente, está relacionada com a amplitude da onda sonora.

Agora definindo o som cientificamente, o som é uma onda sonora resultante das vibrações ou oscilações de um meio material que pode ser sólido, líquido ou gasoso como é o caso do ar, quando as pregas vocais vibram com o ar passando pela traquéia. “Usando uma definição geral, ondas sonoras são ondas mecânicas que podem se propagar através de gases, líquidos ou sólidos” (Halliday *et al.*, 1996, p. 137). E essas oscilações chegam aos nossos ouvidos e percebemos o som em nosso sistema nervoso central.

Como já dito anteriormente, o som que é produzido na voz pode ser emitido em forma de nota musical e ao classificá-lo como uma onda sonora fisicamente, possui uma

frequência definida e dependendo dessa variável, o comprimento de onda pode variar. O som em si é um tipo de onda mecânica que se propaga longitudinalmente, logo, o som pode ser caracterizado como uma onda longitudinal (Figura 2).

Figura 2- Onda transversal e longitudinal.



Fonte: Mais Educação.

Quando o meio material sofre variações de pressões como compressões e rarefações, permite-se a propagação da onda sonora até uma certa distância que chegam aos nossos ouvidos. Essas alternâncias de compressões e rarefações possuem uma certa distância, logo essa distância pode ser definida como o comprimento de onda. O comprimento de onda é a distância em que uma onda percorre, para uma onda transversal é a distância de uma crista a outra.

Para uma onda sonora percorrer certa distância, o meio sofre uma série de compressões e rarefações ao longo da direção de propagação. Quando a onda sofre uma contração, a pressão naquele ponto aumenta, e quando sofre expansão, ela diminui. Essas variações de pressão no meio, quando chegam ao ouvido humano, são captadas e dão a sensação de som (Santos, 2019, p 6).

Além do comprimento, a onda possui um tempo de propagação ou período em que essa oscila. E a quantidade de oscilações pelo tempo de propagação é a frequência da onda, logo o período é inversamente proporcional a frequência:

$$(1) T(\text{período}) = \frac{1}{f}$$

$$(2) f = \frac{1}{T}$$

Além da voz humana ser um recurso artístico e comunicativo, ela também pode ser usada como um ótimo recurso didático para as aulas de física no ensino médio e

fundamental. Além de auxiliar nos conteúdos que envolvem ondas sonoras e etc., ela pode proporcionar uma abordagem musical, o que leva a interdisciplinaridade desse recurso didático.

A proposta do uso da voz no ensino de Física pode tornar as aulas mais interessantes, tendo em vista que as aulas de Física têm sido vistas pela maioria do público jovem como um ensino monótono, abstrato e difícil compreensão. O ensino de Física no Brasil tem estado em crise por diversas razões que envolve metodologias, políticas educacionais e escassez de professores na área. Os professores muitas das vezes trazem uma abordagem mecanizada em suas propostas pedagógicas e ensinam os alunos a decorarem fórmulas para passarem no vestibular.

O ensino de Física no Brasil enfrenta uma crise que envolve metodologias pouco atraentes, desvalorização da área e a escassez de professores especializados. Toma-se necessário repensar as estratégias pedagógicas, tornando as aulas mais interativas e conectadas com a realidade dos estudantes (Franco; Oliveira, 2015. p. 89)

O ensino de Física tem sido um dos que despertam menos interesse nos alunos, unindo a Física ao ato de cantar, pode despertar o interesse dos estudantes.

a Física que é atualmente ensinada nas escolas, por ser muito abstrata e totalmente desvinculada da realidade vivencial, é uma Física que longe de instrumentar o estudante na apreensão e interpretação de sua realidade para uma intervenção crítica, passa a ideia de que ele é incapaz de aprender “essas coisas”, desestimulando assim qualquer intervenção consciente. Noutras palavras, é uma Física que contribui para o conformismo, pois não capacita para a ação (Satiro, 1989, p. 12).

Para mudar a realidade no ensino de Física, especialmente no Brasil, aulas que envolvem prática e dinâmica nos conteúdos como o uso da voz em conceitos ondulatórios, pode ser um grande gatilho para os alunos perceberem o quanto a física pode contribuir para o seu aprendizado e desenvolvimento, tanto pessoal quanto profissional.

A Física do canto envolve conceitos como ondas sonoras e ressonância, enquanto a matemática está relacionada à teoria musical. As ondas sonoras são essenciais para o canto, pela vibração das cordas vocais, viajando pelo ar e sendo percebidas como som. Aspectos físicos, como amplitude e frequência das ondas, influenciam a qualidade do som. O treinamento vocal muitas vezes visa otimizar a manipulação dessas ondas para produzir tons desejados e expressividade.

Segundo Gomes (2021), em “A Sinfonia da Voz: Explorando a Física e Matemática no Canto”, ao destacar a importância das ondas sonoras e ressonância na produção vocal, a obra também explora como os princípios matemáticos fundamentam a

teoria musical associada ao canto. Este livro oferece uma referência teórica para compreender como a Física e a Matemática convergem no treinamento vocal, enriquecendo a abordagem técnica e interpretativa dos cantores.

Cantar afinado está relacionado à física das ondas sonoras. A afinação envolve a produção de frequências específicas ao cantar, o que está diretamente ligado à vibração das cordas vocais e à forma como as ondas sonoras se propagam. A percepção auditiva da afinação é influenciada pela relação harmônica entre essas frequências. Portanto, compreender alguns princípios físicos das ondas sonoras pode auxiliar no desenvolvimento da capacidade de cantar afinado.

[...] embora estejamos o tempo todo imersos num mundo povoado por músicas de todas as espécies, a nossa relação com a música é algo extremamente difícil de ser formalizado e cuja compreensão se dá na esfera do sensível e do intuitivo (Lazzeta, 2001, p 22).

García (2021). abrange os aspectos teóricos da voz como instrumento musical, destacando princípios acústicos, técnicas de produção sonora e a expressividade única da voz. Ao examinar a voz sob uma perspectiva instrumental, o autor oferece insights valiosos para cantores, músicos e estudiosos interessados na compreensão aprofundada da voz como meio musical.

De acordo com Behlau (2005), o som do canto é produzido quando as pregas vocais, localizadas na laringe, se contraem e vibram. Esse processo é conhecido como fonação. À medida que o ar dos pulmões passa pelas pregas vocais, elas se fecham e se abrem rapidamente, criando vibrações. A frequência dessas vibrações determina a altura do som, enquanto a amplitude está relacionada à intensidade. As cavidades na boca e na garganta ajudam a modular o som, produzindo as diferentes vibrações.

O tom do canto está intrinsecamente ligado a princípios físicos, especialmente à frequência das vibrações das pregas vocais. A frequência determina a altura do som, e isso é fundamental na teoria musical. Quanto mais rápido as pregas vocais vibram, mais agudo será o tom, e vice-versa. Assim, a física do som desempenha um papel crucial na compreensão e na produção dos diferentes tons durante o canto “A frequência das vibrações das pregas vocais é o principal determinante da altura do som. Quanto mais rápida a vibração, mais agudo será o tom produzido, e quanto mais lenta, mais grave.” (Tomilinson, 2015, p. 34).

Cada tom musical é distinto não apenas em termos de altura, mas também na vibração sonora que o acompanha. A música, em sua essência, é uma experiência

sensorial complexa, e as diferentes frequências tonais desencadeiam vibrações únicas que contribuem para a riqueza e diversidade do espectro sonoro.

Ao explorar a Física por trás da música, descobrimos que cada nota está associada a uma frequência específica. Essa frequência determina o número de oscilações por segundo e, por conseguinte, a velocidade com que as partículas do ar vibram. As ondas sonoras resultantes dessa vibração são o que percebemos como som. Dessa forma, cada tom musical possui uma vibração sonora única que ressoa no ambiente ao nosso redor.

Cada nota musical está associada a uma frequência específica, que determina o número de oscilações por segundo, influenciando diretamente a velocidade com que as partículas do ar vibram. Essas ondas sonoras, resultantes dessas vibrações, são percebidas como o som, e cada tom musical possui uma vibração sonora única que ressoa no ambiente ao nosso redor (Camerom, 2017, p. 45).

Os tons mais graves costumam ter frequências mais baixas em relação aos tons mais agudos que possuem frequências mais altas resultando em vibrações mais rápidas. Essas notas podem ser mais penetrantes e agudas aos ouvidos, proporcionando uma experiência sonora que diferem daquelas associadas a tons mais graves. A vibração nestes casos é mais sutil e pode ser percebida principalmente no sentido auditivo.

Além da intensidade da vibração, a qualidade tonal também é afetada pela forma como os instrumentos produzem as ondas sonoras. Por exemplo, um piano de cauda produz uma vibração sonora rica e cheia de harmônicos, enquanto um instrumento de sopro como a flauta gera uma vibração mais pura e clara. Essas nuances contribuem para a diversidade de texturas que podemos encontrar na música.

Além da intensidade da vibração, a qualidade tonal também é influenciada pela maneira como os instrumentos produzem ondas sonoras. Instrumentos de corda, como o piano, geram sons ricos em harmônicos, enquanto instrumentos de sopro tendem a produzir sons mais puros e claros.” (Silva, 2021, p. 45).

A relação entre tonalidade e vibração não se limita apenas aos instrumentos musicais. A voz humana, por exemplo, é capaz de criar uma ampla variedade de tons e vibrações, permitindo uma expressão emocional única. Cantores habilidosos podem modular suas vozes para transmitir sentimentos que vão desde a melancolia até a alegria, tudo isso através da manipulação consciente das vibrações sonoras associadas a cada nota.

2- MATERIAIS E MÉTODO

A primeira etapa foi realizada um estudo teórico das cordas vocais, explicitando o fenômeno da produção de som em cordas, ressaltando a importância da ressonância das

pregas vocais. Neste texto será trabalhado, também, a conexão entre a física (produção de som), diretamente ao ato de cantar.

Em uma segunda etapa, foi analisada a voz de um cantor e de uma cantora, profissionais, e também a voz de um participante, que não exerce o ato de cantar, doravante chamados respectivamente de cantor 1, cantor 2 e cantor 3.

Em uma terceira etapa, foi utilizado o software Audacity, que possibilita fazer um estudo da qualidade das notas cantadas pelos entrevistados. O software faz análise espectral dos sons gravados, possibilitando identificar a nota principal cantada, bem como seus harmônicos. Através deste software, é possível até mesmo verificar uma espécie de assinatura vocal de cada cantor, identificando o espectro de cada um.

Por meio do aplicativo digital, foi possível medir as frequências e vibrações que o canto desenvolveu em cada tom realizado, assim, mostrando como a física está ligada com o fato de cantar afinado e o de cantar bem. Para isso, foi utilizado um computador, o microfone do próprio computador e a voz humana como instrumento. Os testes foram realizados tanto no tom alto, quanto no mais baixo: alto significa agudo, enquanto baixo se refere ao tom mais grave.

A gravação foi realizada em um ambiente fechado, para que não houvesse interferências externas, uma vez que o microfone capta todos os sons que são emitidos dentro do ambiente. Foi-se utilizado o microfone do próprio notebook conectado a placa de áudio.

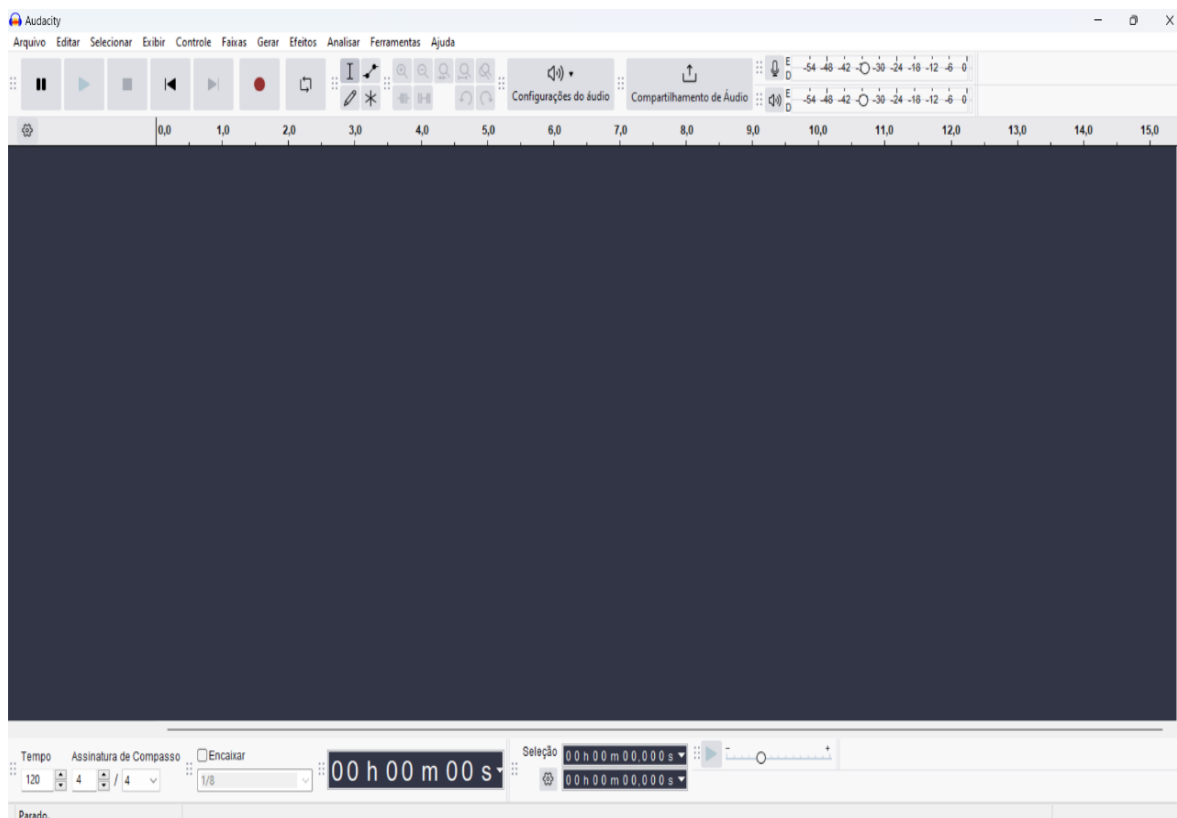
A versão utilizada do Audacity foi a 3.7.0, na qual o cantor realizou gravações com emissões vocais de diferentes frequências, do grave ao agudo, onde somente uma nota era cantada por vez, para que o sistema conseguisse captar e analisar com melhor qualidade.

Para a análise, foi utilizado o espectrograma, uma ferramenta dentro do Audacity que permite visualizar as frequências emitidas durante os vocais realizados. Cada gravação será realizada três vezes para garantir que os resultados tenham um respaldo e possamos tirar uma média referente aos testes. As amostras captadas foram importadas para o Audacity, onde foi utilizada a função de espectrograma para visualizar e analisar as frequências e intensidades das vocalizações. Foram extraídos dados sobre a frequência fundamental, amplitudes e formantes (responsáveis por modelar o timbre da voz), com base nos princípios da acústica vocal.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

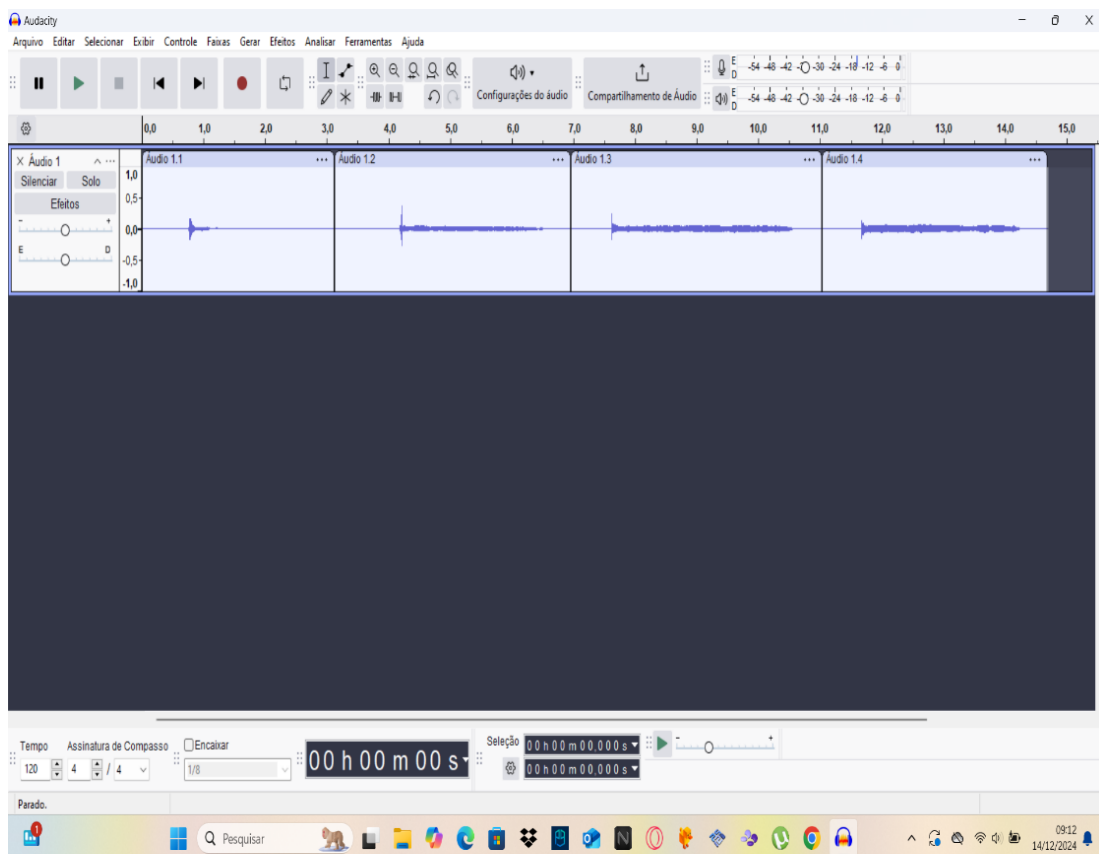
O sistema permite gravações e oferece ferramentas como efeitos e análise espectral (Figuras 3 e 4).

Figura-3 – Sistema Audacity.



Fonte: Autor, 2024.

Figura 4 –Gravações das emissões vocais.

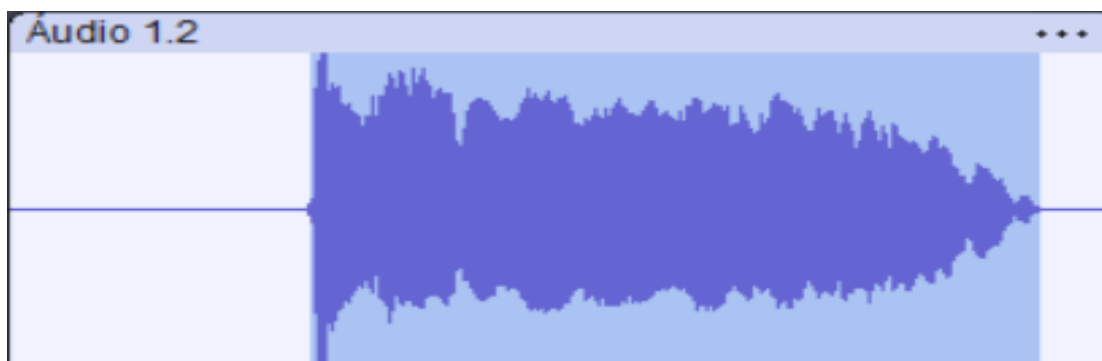


Fonte: Autor, 2024.

Na Figura 4, podemos verificar uma faixa de áudio com quatro segmentos destacados 1.1, 1.2, 1.3 e 1.4, cada uma produzida em diferentes momentos, mas em um pequeno intervalo de tempo. Cada um dos segmentos apresenta uma forma de onda distinta, indicando diferentes padrões sonoros. Isso é resultado dessa primeira análise da voz ter sido produzida quando o cantor acabou de acordar. O fato de a gravação ter sido emitida após o sono, podemos observar características específicas da voz, como menor amplitude, que é o volume, pois a musculatura vocal ainda está relaxada, e a presença de ruídos ou alterações na frequência, já que é comum, uma vez que a voz não foi aquecida.

Observe na figura 5 o áudio da emissão de voz realizada pelo cantor 1.

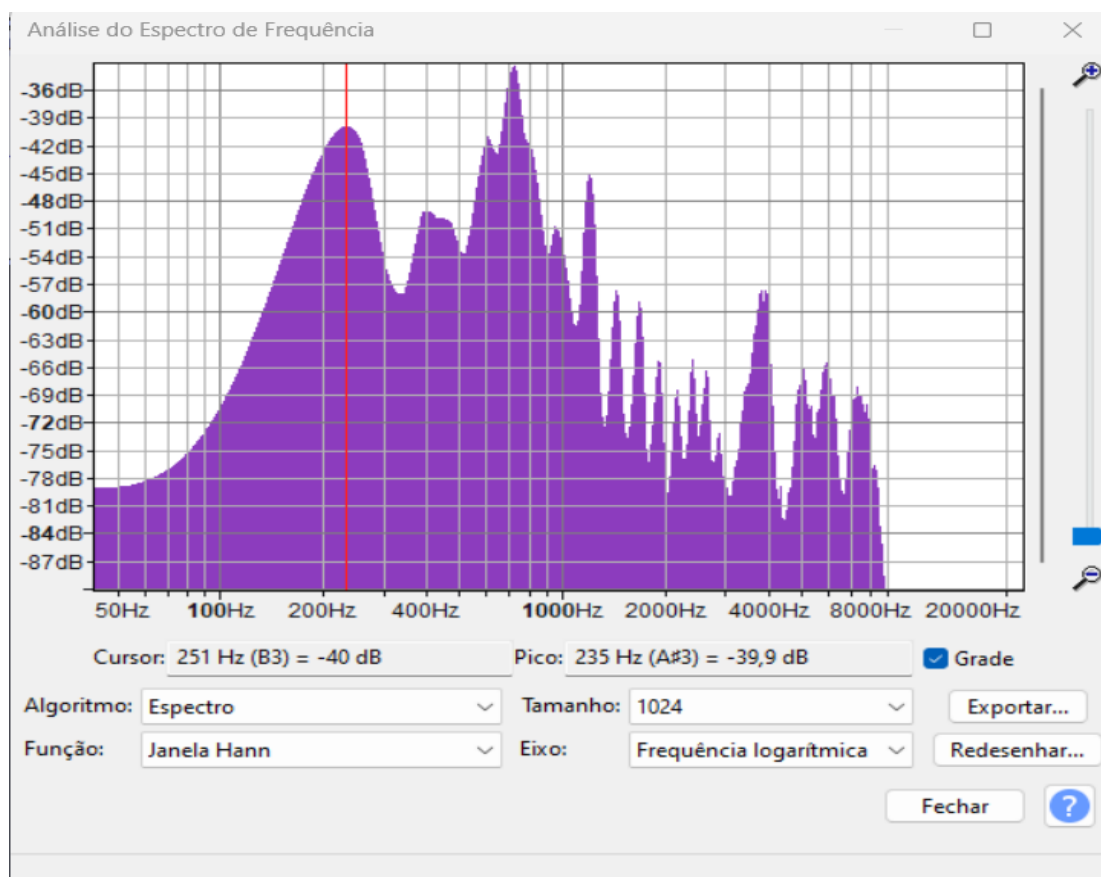
Figura 5 - Áudio 1.2 Análise vocal, segmento 1.2 imagem ampliada.



Fonte: Autor, 2024.

Áudio da gravação realizada pelo cantor 1 com a voz sem aquecimento, assim que acordou, apenas cantando uma nota, sem referência. Observe na figura 6, o espectro de frequência dessa voz.

Figura 6 – Análise espectral do áudio da figura número 5.



Fonte: Autor, 2024.

Na Figura 6, o eixo X na horizontal representa as frequências, geralmente em Hertz (Hz). As frequências mais baixas (graves) estão à esquerda e as mais altas (agudas) estão à direita. O eixo é o vertical. Representa a amplitude ou intensidade das frequências. Quanto mais alto o ponto no gráfico, mais forte é essa frequência no sinal de áudio. O espectro de frequência é útil para várias aplicações: Identificação de Ruídos: Ajuda a encontrar e isolar ruídos indesejados no áudio. Ajuste de EQ (Equalização): Permite ajustar as frequências para melhorar a qualidade do som. Análise de Qualidade de Áudio: Avalia a presença e o equilíbrio das frequências para garantir uma boa qualidade sonora.

No espectrograma, dentro da análise, as linhas representam as frequências presentes na gravação, a altura e a intensidade nas linhas correspondem as propriedades. Dentro das notas musicais, as linhas descrevem as frequências que compõem uma devida nota (fundamental e harmônicos), frequência fundamental é a nota principal e os harmônicos são o timbre. O espectro de frequência é uma representação gráfica das frequências de áudio presentes em um sinal. Em vez de exibir o áudio ao longo do tempo (como uma forma de onda), o espectro de frequência mostra quais frequências estão presentes e sua intensidade.

Esta imagem mostra o gráfico do espectro de frequência de uma faixa de áudio no software Audacity. A análise mostrou:

Eixo horizontal (Hz): Representa as frequências do som, desde os graves (à esquerda, em torno de 50 Hz) até os agudos (à direita, próximo de 20.000 Hz).

Eixo vertical (dB): Indica a intensidade (volume) das frequências em decibéis (dB). Valores mais próximos de 0 dB são mais altos, enquanto os mais baixos (em torno de -87 dB) são quase inaudíveis.

Análise da nota principal, a frequência principal (235 Hz): De acordo com o cursor, o pico de maior intensidade está em 235 Hz, o que corresponde à nota A#3 (Lá sustenido 3) a nota principal foi registrada com uma intensidade de -39 dB, indicando um volume moderado. A forma do gráfico revela a presença de harmônicos. Os harmônicos são múltiplos da frequência fundamental (235 Hz). Eles criam o timbre único da voz ou do instrumento analisado. Picos em frequências superiores a 235 Hz mostram que as notas não foram puras, mas ricas em frequências adicionais (característico de vozes humanas ou instrumentos acústicos).

A análise começou em 4,168 segundos e terminou em 6,676 segundos, cobrindo uma duração de aproximadamente 2,5 segundos. Durante esse tempo, a frequência fundamental permaneceu constante em 235 Hz, indicando que a nota foi sustentada sem

grandes oscilações. A nota foi sustentada e provavelmente emitida de maneira controlada. Isso sugere boa técnica vocal ou estabilidade no instrumento.

A presença de harmônicos bem definidos demonstra que o som teve boa projeção e ressonância, o que é importante para a percepção de clareza em contextos musicais. Essa análise mostra que a nota A#3 foi bem sustentada, com harmônicos consistentes, indicando boa qualidade sonora, seja da voz ou do instrumento analisado. O controle muscular das pregas vocais é fundamental para a produção do som e influencia diretamente a frequência (pitch) e o volume (intensidade) da voz.

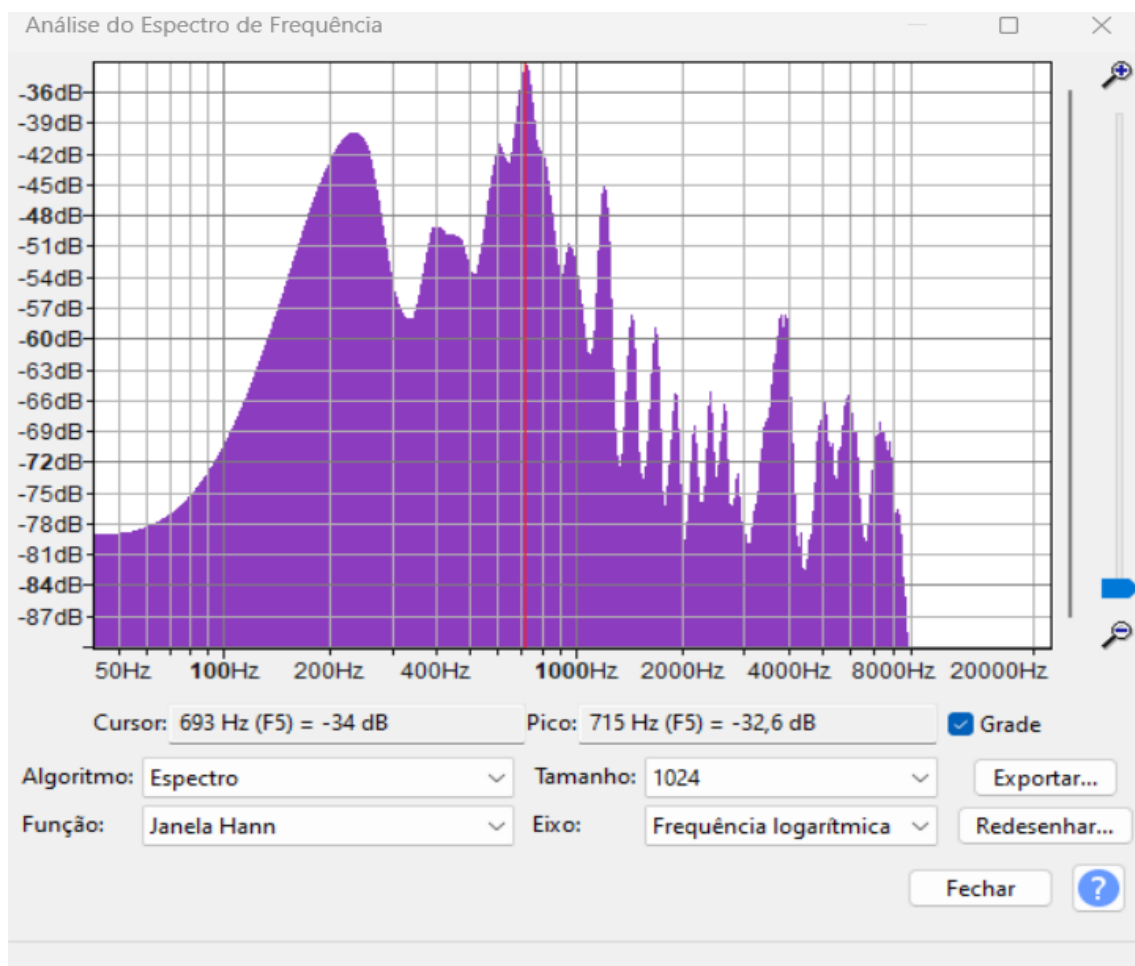
A Influência no Controle da Frequência (Pitch) A frequência fundamental da voz, que determina a altura da nota (grave ou aguda), é regulada pelo tensionamento das pregas vocais: Aumento de tensão. Quando os músculos tensores das pregas vocais (como o músculo cricotireoideo) são ativados, as pregas ficam mais alongadas e tensionadas. Isso aumenta a frequência de vibração e resulta em notas mais agudas. Redução de tensão: Quando os músculos relaxam (ação do músculo tireoaritenóideo), as pregas ficam mais espessas e menos tensas, diminuindo a frequência de vibração e produzindo notas mais graves. Uma nota aguda exige maior controle dos músculos cricotireóideos, enquanto uma nota grave depende mais da ação do músculo tireoaritenóideo.

O volume da voz é determinado pela pressão subglótica (pressão do ar nos pulmões antes de passar pelas pregas vocais) e pelo controle da abertura e fechamento das pregas vocais: Maior pressão subglótica: Quando mais ar é comprimido antes de ser liberado, as pregas vocais vibram com maior amplitude, gerando um som mais intenso (maior volume). Menor pressão subglótica: Uma menor força de ar resulta em menor vibração e volume.

Papel dos músculos: Os músculos responsáveis pelo fechamento completo das pregas vocais (como os aritenóideos laterais e interaritenóideos) garantem que o som seja produzido com eficiência. Se o fechamento não for adequado, o som pode sair “soprado” ou fraco. Embora sejam controlados de maneira independente, frequência e volume se relacionam na prática: Tensão alta nas pregas vocais (para notas agudas) pode dificultar a vibração ampla necessária para um volume alto. Relaxamento das pregas vocais (para notas graves) permite vibrações amplas, facilitando a produção de som mais intenso. No canto, o controle fino dos músculos das pregas vocais é essencial para: Sustentar notas: Manter uma frequência estável durante uma nota longa requer ajuste constante dos músculos. “No canto, o controle fino dos músculos laríngeos é essencial para sustentar a produção sonora estável durante uma nota prolongada, exigindo ajustes contínuos na tensão e comprimento das pregas vocais” (Titze, 2000, p. 78).

Dinâmica vocal: Alterar o volume sem mudar a frequência (crescendo e decrescendo). Flexibilidade vocal: Alternar entre notas graves e agudas (melismas ou saltos de oitavas) depende do equilíbrio preciso entre os músculos tensores e relaxadores das pregas vocais (Figura 7).

Figura 7 – gráfico da figura 6 ampliado



Fonte: Autor, 2024.

Para identificar como as notas mudaram na análise do espectro, podemos observar os picos no gráfico, que representam as frequências predominantes no som. Cada pico corresponde a uma frequência que pode ser associada a uma nota musical. Aqui: Frequência e nota musical: A relação entre frequência e nota musical segue a fórmula:

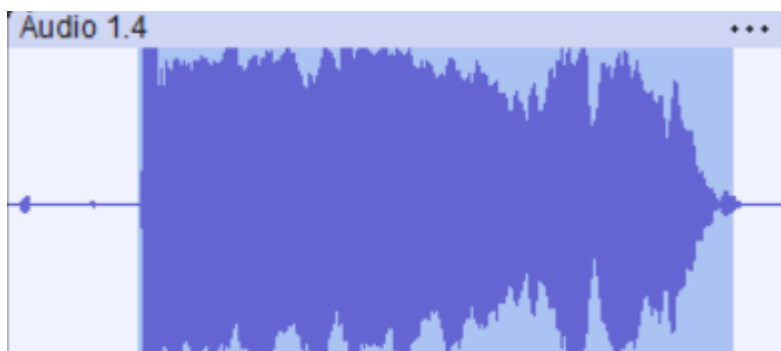
$$(3) f = 440 \times 2^{\left(\frac{n}{12}\right)}$$

Onde f é a frequência em Hz, n é o número de semitons acima ou abaixo do Lá 4 (440 Hz). O pico em 715 Hz está próximo da nota Fá5 (698,46 Hz), o que indica que houve uma alteração nessa direção. A mudança na altura (pitch) mostra que se os picos

se moveram para frequências maiores, as notas estão ficando mais agudas. Caso os picos se moveram para frequências menores, as notas estão ficando mais graves. Analisando harmônicos a proporção entre os picos (fundamental e harmônicos) se mantém. Isso pode indicar uma mudança de nota ou apenas variações de intensidade nos harmônicos. A nota foi cantada sem referência de tom.

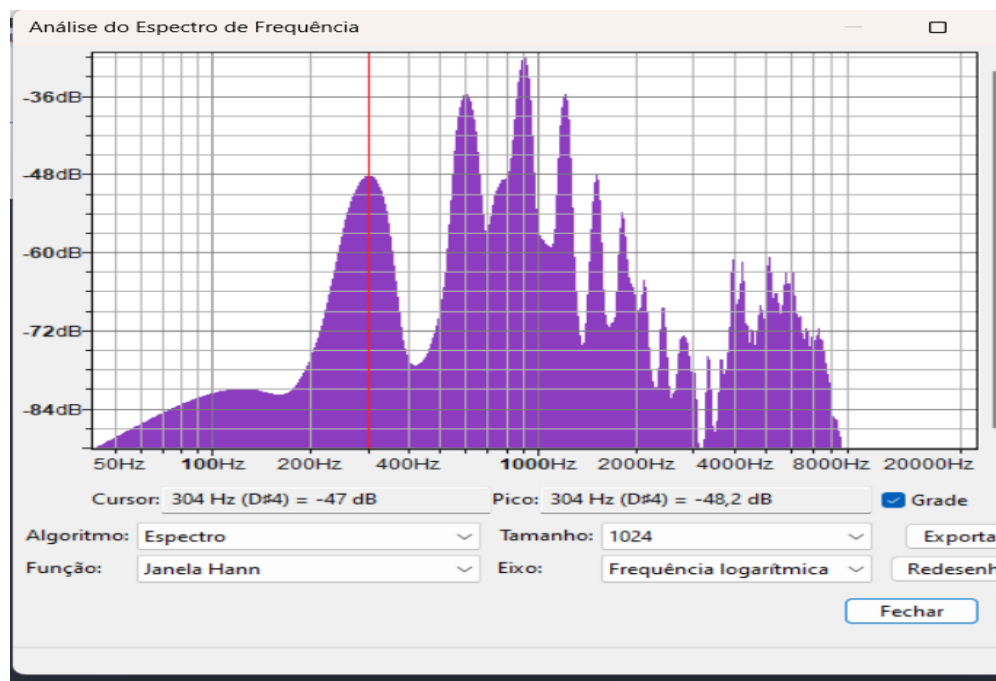
Observe as Figuras 8 e 9 a seguir as quais estão relacionadas com a análise do segmento 1.4. Realizadas pelo cantor 1.

Figura 8 – Áudio 1.4.



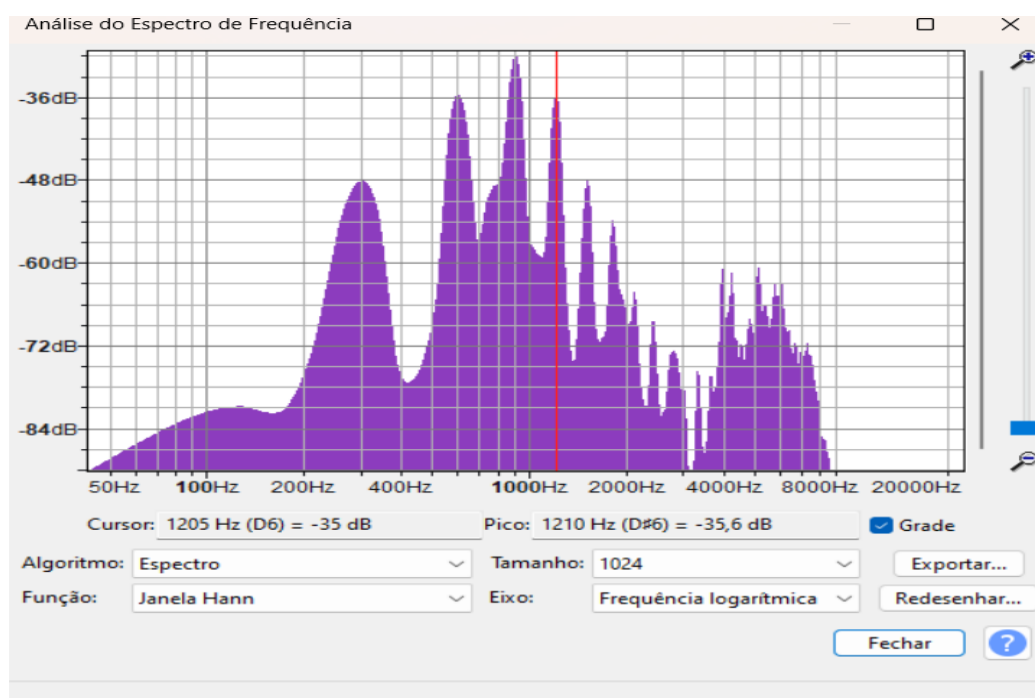
Fonte: Autor, 2024.

Figura 9 - Análise do Espectro de frequência do áudio 1.4.



Fonte: Autor, 2024.

Figura 10 - Mesmo espectro do áudio 1.4.



Fonte: Autor, 2024.

O pico em 1210 Hz significa que a frequência mais forte, ou seja, a nota mais proeminente na voz analisada, está em 1210 Hz. Mostrando que a voz produziu uma frequência próxima a essa, com uma intensidade maior do que outras frequências ao redor.

As notas musicais estão associadas a frequências específicas. Cada nota tem uma frequência correspondente, e as notas seguem uma escala logarítmica. Ou seja, a frequência de cada nota aumenta ou diminui de forma exponencial (não linear). A nota A4 (Lá4) tem a frequência de 440 Hz. A partir de A4, as notas aumentam de frequência conforme você sobe a escala. O cálculo da nota musical. Para identificar qual nota corresponde a 1210 Hz, usei a fórmula de intervalo de semitons:

$$(4)n = 12 \cdot \log_2\left(\frac{f}{f_0}\right)$$

Onde: n é o número de semitons acima do A4 (440 Hz), f é a frequência observada (1210 Hz), f_0 é a frequência de A4 (440 Hz). Com isso, conclui que 1210 Hz corresponde a D6 (Ré6). O A#5 (Lá#5) tem a frequência de 932 Hz, que é muito mais baixa que 1210 Hz. Quando você faz o cálculo, verá que 1210 Hz não corresponde a A#5, mas sim a D6, porque as frequências de A#5 e D6 estão em diferentes regiões.

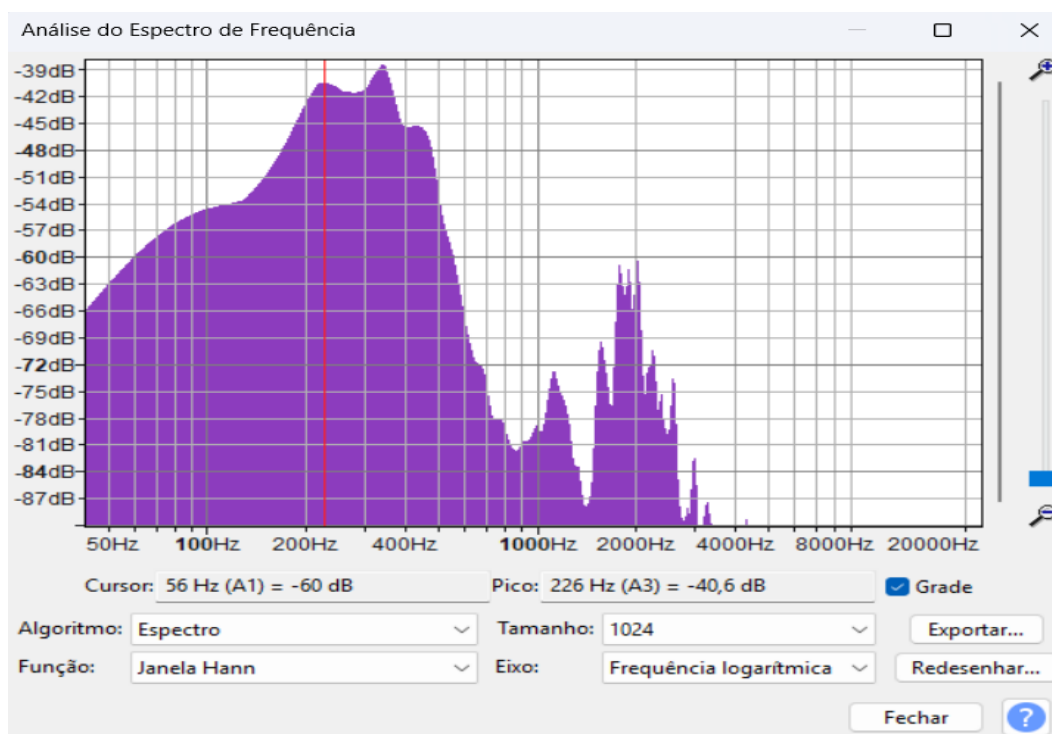
Esse pico alto em 1210 Hz ocorre porque essa frequência é uma das mais proeminentes na gravação de voz, o que pode ser causado por vários fatores: Harmônicos: A voz humana tem uma estrutura harmônica, ou seja, as notas mais altas (como D6) são frequentemente múltiplos da frequência fundamental. Então, 1210 Hz pode ser um harmônico forte da nota fundamental. Vogais claras: Algumas vogais (como a “e” ou “i”) têm mais energia nessa faixa de +frequência, o que pode gerar esse pico em 1210 Hz. Tensão vocal: Quando a pessoa canta ou fala com mais intensidade, pode produzir picos em frequências mais altas.

Depois de analisar a frequência de 1210 Hz, notei que ela corresponde a D6 (Ré6), que é uma nota mais alta do que A#5. Isso significa que a voz apresentou um pico de intensidade nessa faixa, e o cálculo confirma que a nota mais alta é D6 e não A#5. O pico mais alto em 1210 Hz corresponde à nota D6, não A#5. A razão disso é que 1210 Hz é mais próximo de D6 do que de A#5 (que tem 932 Hz). pico alto pode ser causado por harmônicos da voz ou pelas características específicas de como a pessoa canta ou fala nessa faixa de frequência.

Essa análise ajuda a entender como a voz se comportou em termos de frequências e intensidades. O pico em 1210 Hz é significativo, indicando uma nota proeminente da voz analisada.

Análise da corda de violão A do violão Tágima mahogany após ter sido executado o processo de afinação, para fazer um comparativo com a nota A emitida pela voz humana, observe o espectro na Figura 11. Áudio corda A violão tagima mahogany.

Figura 11 - Análise do Espectro de Frequências da Corda A do Violão.



Fonte: Autor, 2024.

O maior pico no gráfico corresponde a 226 Hz, que está muito próximo da frequência teórica da nota A3 (220 Hz). Isso indica que a corda está afinada corretamente ou levemente acima do padrão.

Além da frequência fundamental, o gráfico apresenta picos menores correspondentes aos harmônicos. Esses harmônicos são múltiplos inteiros da frequência fundamental (226 Hz) e são esperados no comportamento de uma corda vibrante. Eles influenciam diretamente o timbre característico do instrumento. O pico principal atinge aproximadamente -40 dB, enquanto os harmônicos apresentam amplitudes decrescentes à medida que suas frequências aumentam.

Existem frequências de baixa amplitude fora da região principal de interesse, especialmente abaixo de 200 Hz e acima de 2 kHz. Esses sinais provavelmente correspondem a ruídos ou ressonâncias secundárias. A corda A apresenta um comportamento consistente com a nota A3, já que a frequência fundamental está muito próxima da faixa esperada de 220 Hz, com harmônicos bem definidos.

A pequena diferença para 226 Hz pode ser explicada por fatores como: Leve variação na afinação (corda afinada um pouco acima do padrão). Limitações na precisão dos instrumentos utilizados (violão ou software). Alterações na tensão da corda ao tocar.

A corda A está praticamente afinada, com um leve desvio acima do padrão de 220 Hz. O espectro revela harmônicos bem definidos, indicando um timbre equilibrado e uma

boa resposta do instrumento. Para maior precisão, pode-se ajustar a afinação ligeiramente para atingir exatamente 220 Hz, caso necessário.

A diferença visual entre o gráfico da corda do violão (cheio de azul) e o da análise da voz ocorre devido às características das fontes sonoras e como elas são processadas no espectrograma. Quando você toca uma corda, ela produz uma vibração quase periódica. Isso significa que a energia sonora está concentrada em frequências bem definidas (frequência fundamental e seus harmônicos). O resultado é um espectro com picos bem destacados, como o que você observa no gráfico. A voz, mesmo ao cantar uma nota, é menos periódica que uma corda vibrante. Ela contém componentes como ruído do ar, variações de timbre e formantes (frequências reforçadas pela ressonância do trato vocal). Por isso, o espectro da voz tende a ser mais “difuso” e menos concentrado em frequências específicas.

No gráfico da corda do violão, a frequência fundamental e os harmônicos têm amplitudes muito maiores do que outras frequências. Isso cria uma visualização mais “cheia” de azul, pois há concentração de energia nessas regiões. Na análise da voz, como a energia está mais espalhada entre várias frequências e os picos não são tão altos, a intensidade gráfica (o preenchimento azul) é menor. No violão, há menos ruído de fundo em comparação à voz. O som da corda é mais puro e gera um espectro com áreas mais claramente preenchidas. Na voz, há mais elementos “imprevisíveis” (como respiração, vibrações irregulares das cordas vocais, etc.), o que faz o gráfico parecer menos preenchido. O algoritmo de análise utilizado (como “Espectro” ou “Spectrograma”) e a escala do gráfico (logarítmica ou linear) também podem influenciar o visual. Certifique-se de que as configurações no Audacity sejam consistentes entre as análises para comparações diretas. O gráfico do violão parece mais “cheio” porque o som da corda é mais puro e periódico, com energia concentrada em frequências específicas. O gráfico da voz é mais “difuso” devido à natureza menos periódica da vibração vocal e maior presença de ruído e ressonâncias complexas.

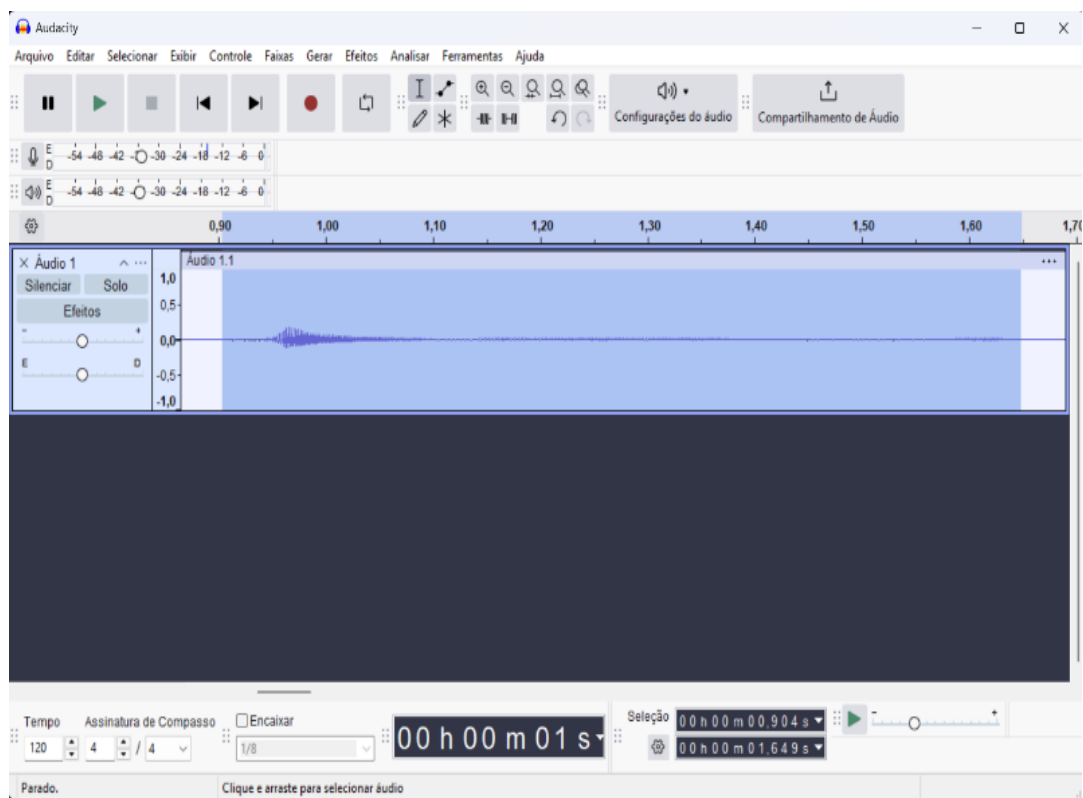
O controle muscular das pregas vocais é um exemplo perfeito de biomecânica aplicada à produção do som. A frequência é ajustada pelo tensionamento e comprimento das pregas, enquanto o volume depende da força do fluxo de ar e da amplitude da vibração. No canto, o domínio dessa interação permite performances expressivas, com notas claras e dinâmicas equilibradas.

O controle das pregas vocais exemplifica a biomecânica na produção do som: a frequência está diretamente relacionada ao tensionamento e ao comprimento

das pregas vocais, enquanto o volume é influenciado pela amplitude da vibração e pela intensidade do fluxo de ar (Itze, 2000. p. 156).

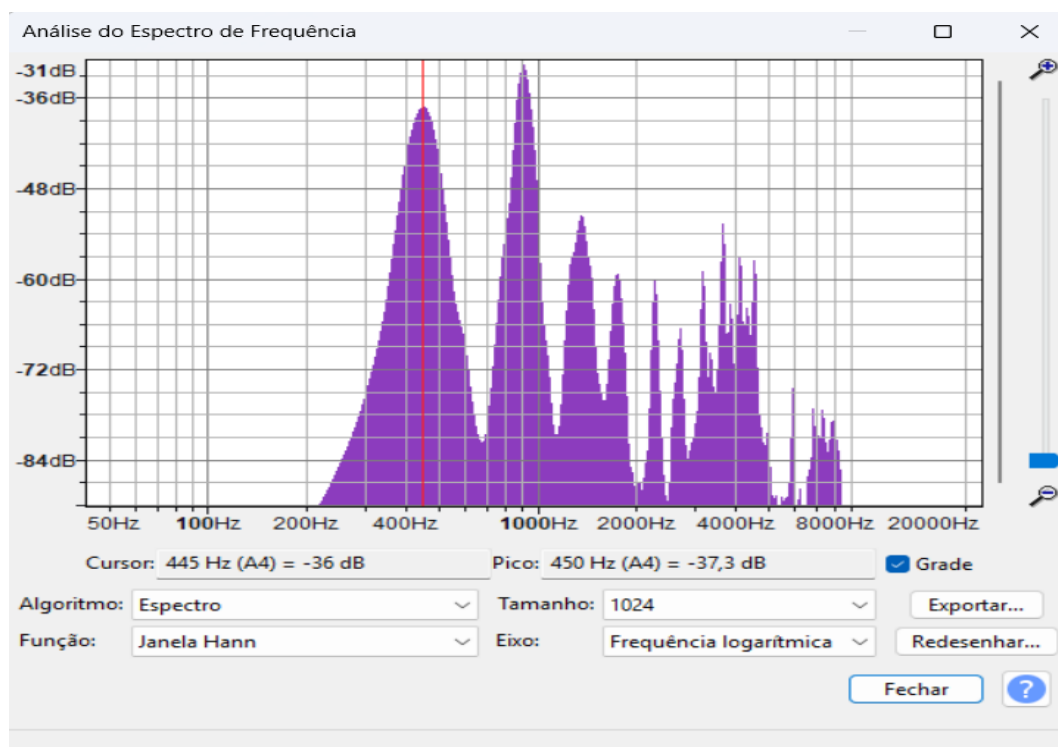
A análise a seguir contém dados da voz da cantora 2, que fez estudo musical e desenvolveu sua musculatura ao longo de 10 anos, observe as figuras número 12 e 13.

Figura 12- áudio da gravação



Fonte: Autor, 2024.

Figura 13- espectro da voz analisada da cantora 2



Fonte: Autor, 2024.

Características da Voz Feminina no Espectro:

A frequência de 450 Hz (A4) está na faixa típica de uma voz feminina no registro médio-agudo. Isso é comum para sopranos ou mezzo-sopranos, indicando que a nota está bem dentro do alcance natural de uma voz feminina.

Harmônicos: A presença de harmônicos bem definidos e regulares sugere que a voz foi bem projetada e ressoou adequadamente. Isso é um indicativo de que a técnica vocal foi bem aplicada, já que harmônicos fortes estão relacionados à boa colocação da voz e uso eficiente do trato vocal.

Projeção e Consistência:

A amplitude (-37,3 dB na frequência de pico) está em um nível coerente para uma voz que foi gravada sem esforço excessivo ou perda de projeção. Uma voz feminina que sabe cantar geralmente mantém esse equilíbrio entre a frequência fundamental e os harmônicos, o que é observado aqui.

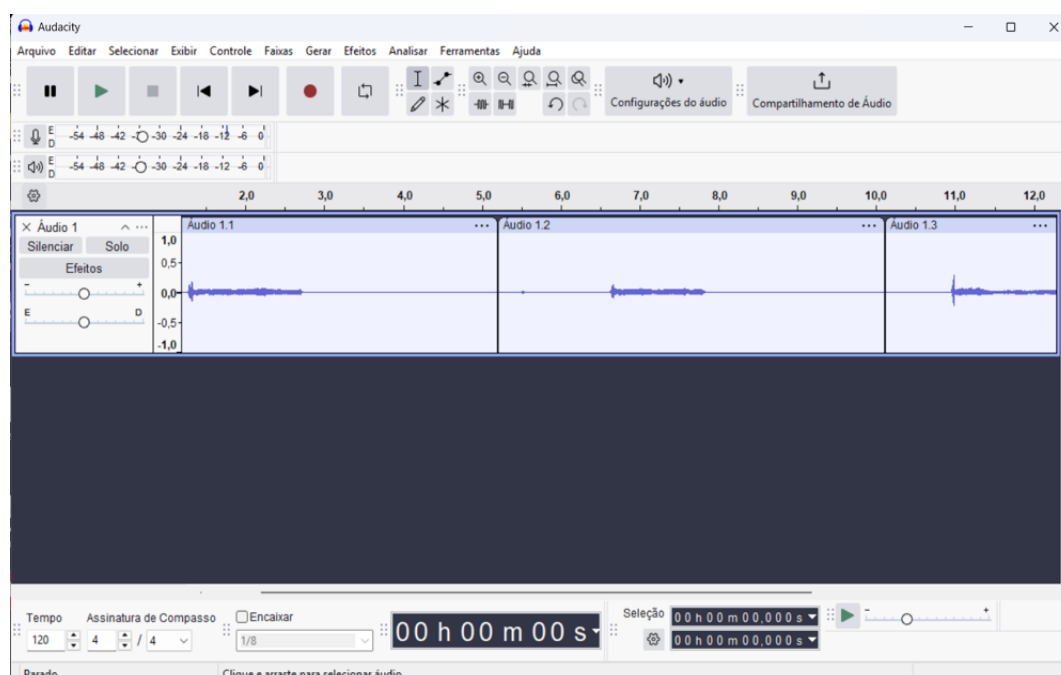
Controle Vocal: A estabilidade na frequência fundamental e a distribuição harmoniosa da energia nas frequências mais altas (até 4 kHz) indicam bom controle respiratório e vocal. Não há sinais de flutuação que apontem para imprecisão na execução da nota.

Brilho e Suavidade:

A energia nos harmônicos superiores sugere que a voz tem brilho suficiente, mas sem exagero, o que é típico de uma execução bem equilibrada. Isso também é um indicador de que a emissão foi limpa e clara, sem tensões excessivas ou problemas de articulação. A execução foi muito boa, com base no espectro analisado. Aqui estão os pontos que suportam essa conclusão: A nota está bem definida e estável, sem sinais de desvios ou imprecisões tonais. O timbre é claro e equilibrado, com harmônicos ricos e bem distribuídos. Não há indicações de distorção ou ruídos que possam apontar para falhas técnicas. A energia e o controle vocal demonstram que a pessoa tem experiência ou treinamento, ou pelo menos sabe como usar sua voz de forma eficiente. No entanto, aspectos subjetivos, como emoção ou interpretação, não podem ser medidos apenas pelo espectro. Do ponto de vista técnico, foi uma execução bem-feita e coerente com as características de uma voz feminina que sabe cantar.

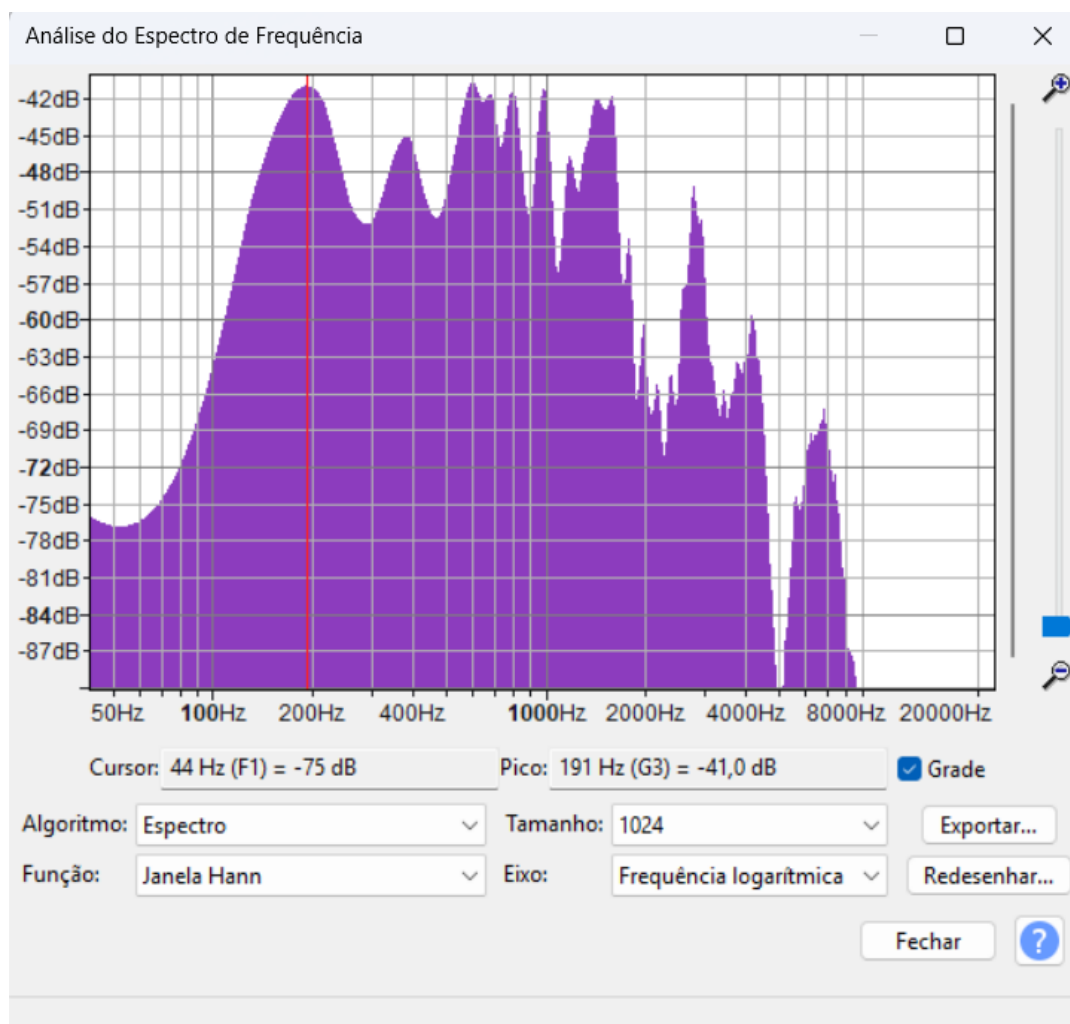
Observe agora as figuras 14 e 15 que contém o áudio da voz do cantor 3 , um adolescente de 14 anos que nunca fez aula de canto.

Figura 14- áudio do cantor 3



Fonte: Autor, 2024.

Figura 15- espectro cantor 3



Fonte: Autor, 2024.

O pico principal está em 191 Hz, que corresponde à nota Sol3 (G3) no sistema temperado. Se a intenção era emitir uma nota específica (como um Sol3), a pessoa acertou a frequência fundamental. Isso demonstra que, mesmo sem aulas de canto, a voz consegue se aproximar de uma nota musical com certa precisão.

Foi executado a vogal A. O som da vogal “A” (um som mais aberto e encorpado) costuma apresentar harmônicos fortes e bem distribuídos acima da frequência fundamental. No espectro, vemos picos secundários regulares (harmônicos) que indicam que a pessoa tem uma emissão natural e funcional, mesmo sem treinamento técnico. A presença de harmônicos claros sugere que a voz é estável e não tem grandes problemas de tensão ou instabilidade vocal.

A amplitude do pico principal em -41 dB e dos harmônicos indica uma projeção vocal razoável para alguém sem treinamento. A intensidade está equilibrada, o que é

positivo, mas sugere que ainda há espaço para melhorar a potência e o brilho da voz com técnicas de canto.

A vogal “A” é ideal para análises porque evidencia o equilíbrio entre graves e agudos. O espectro mostra que a voz tem componentes graves e agudos moderados, o que indica um timbre equilibrado. Isso pode ser usado para demonstrar como o canto sem técnica pode gerar um espectro de frequências harmônicas naturais, mesmo que faltem ajustes finos (como brilho ou maior projeção).

Execução: A pessoa acertou a nota fundamental (Sol3) e apresentou harmônicos consistentes, o que indica uma emissão estável mesmo sem aulas de este resultado pode ser usado como exemplo de como a voz humana, mesmo sem treinamento, naturalmente organiza frequências em torno da fundamental e gera harmônicos que enriquecem o som. Evolução com aulas: Com treino, essa pessoa pode melhorar projeção, amplitude dos harmônicos superiores e controle do timbre.

No espectrograma, dentro da análise, as linhas representam as frequências presentes na gravação, a altura e a intensidade nas linhas correspondem as propriedades. Dentro das notas musicais, as linhas descrevem as frequências que compõem uma devida nota (fundamental e harmônicos), a frequência fundamental é a nota principal e os harmônicos são o timbre.

A análise focou na organização estrutural das ondas sonoras, relacionando os ajustes vocais com as propriedades físicas das ondas emitidas. Conforme abordado por Fukuyama (1992), a organização de sistemas complexos, ainda que aplicada em um contexto social, fornece uma analogia útil para compreender como diferentes ajustes na técnica vocal podem alterar a estrutura da produção sonora.

Esses parâmetros foram estudados em relação às propriedades da onda sonora, conforme descrito por Fukuyama (1992), que trata da organização social e dos padrões de ordem aplicados em diferentes contextos, incluindo a organização da performance vocal.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos dados obtidos, foi possível interpretar como a organização dos parâmetros vocais influencia na qualidade do som produzido. O estudo observou que a modulação adequada da cavidade vocal e o controle respiratório permitem a produção de frequências e timbres específicos, o que reforça a importância da técnica vocal na organização física do som. Essa ideia se relaciona à abordagem de Fukuyama (1992), que

discute a importância da organização interna para o funcionamento eficiente de qualquer sistema, o que, no presente trabalho, pode ser observado na eficiência vocal.

Os dados coletados foram comparados com os princípios físicos do som e da produção vocal, conforme discutido por Sundberg (1987), que descreve a relação entre o formato da cavidade vocal e as frequências geradas. A análise permitiu identificar como os ajustes na técnica vocal influenciam diretamente os resultados físicos do som, como a modulação de formantes e o alcance de frequências específicas. A comparação entre as vocalizações permitiu observar a eficiência da técnica vocal em diferentes registros.

Integrar o ensino de técnicas de canto às aulas de física nas escolas brasileiras é uma estratégia inovadora que une ciência, arte e cultura, enriquecendo a experiência educacional. O canto, ao envolver conceitos como frequência, amplitude, ressonância e propagação do som, oferece um campo prático e estimulante para explorar princípios fundamentais da física. Essa abordagem torna o aprendizado mais concreto e acessível, facilitando a compreensão de conteúdos muitas vezes considerados abstratos, como ondas sonoras e harmônicos. Além do aspecto científico, essa proposta valoriza a cultura brasileira, na qual a música ocupa um papel central, e promove a criatividade e a expressão pessoal dos alunos. Ao trabalhar a física do canto, os estudantes não apenas desenvolvem habilidades técnicas e cognitivas, mas também fortalecem seu vínculo com a arte, a comunicação e a identidade cultural. Essa interdisciplinaridade transforma o ensino em uma experiência mais dinâmica e significativa, conectando ciência e emoção de forma única.

Dessa maneira, ensinar a física por meio do canto é mais do que uma inovação pedagógica; é um convite para explorar novas formas de aprendizado, ressignificando a ciência e enriquecendo o repertório cultural e humano dos estudantes.

REFERÊNCIAS

ADOLFO, A. **Música: leitura, conceitos, exercícios**. Rio de Janeiro: Lumiar Editora, 2002.

CAMERON, J. **Física do som e música**. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora Ciência Viva, 2017.

DEGANI, M.; MERCADANTE, E. F. **Os benefícios da música e o canto na maturidade**. 2011. p. 149-166. Disponível em: <https://revistas.pucsp.br/index.php/kairos/article/view/5372>. Acesso em: 14 out. 2024.

FRANCO, M. L.; OLIVEIRA, J. E. **Educação em ciências: desafios e perspectivas**. 2. ed. São Paulo: Cortez, 2015.

FUKUYAMA, E. Análise acústica da voz captada na faringe próximo à fonte glótica através de microfone acoplado ao fibrolaringoscópio. **Revista Brasileira de Otorrinolaringologia**, 2001. p. 776-786. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rboto/a/7hPKNgNp9CLYrW39fCQbc4b/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 14 out. 2024.

FUKUYAMA, F. **The end of history and the last man**. New York: Free Press, 1992.

GARCÍA, M. R. **A voz como instrumento: explorando acústica, técnica e expressão**. São Paulo: Editora Harmonia Sonora, 2021.

HALLIDAY; RESNICK; WALKER. **Fundamentos de Física 2: gravitação, ondas e termodinâmica**. Rio de Janeiro: LTC, 1996.

HAWKING, S. **O universo em uma casca de noz**. São Paulo: Companhia das Letras, 2010.

IAZZETTA, P. O que é música (hoje)? **Estudos de Sociologia**, v. 16, n. 2, p. 253-272, 2001.

MAIS EDUCAÇÃO. Física: conceito e classificação das ondas. 2017. Disponível em: <https://www.maiseducacao.blog.br/2017/09/fisica-conceito-e-classificacao-das.html>. Acesso em: 14 out. 2024.

SANTOS, H. M. **Produção de dispositivo para medidas de vibrações mecânicas e das propriedades de ondas sonoras utilizando a tecnologia de arduínos**. Brasília: Universidade de Brasília, 2019. 34 p. Disponível em: <https://bdm.unb.br/handle/10483/32970>. Acesso em: 14 out. 2024.

SATIRO, L. **Ensino de física e realidade**. São Paulo: Editora Cortez, 1989.

SUNDBERG, J. **The science of the singing voice**. DeKalb: Northern Illinois University Press, 1987.

TITZE, Ingo R. **Principles of voice production**. Iowa City: National Center for Voice and Speech, 2000.

TOMLINSON, J. **Fundamentos da teoria musical**. 3. ed. São Paulo: Editora Musifon, 2015.

VENTURA. **O aparelho fonador diz respeito ao conjunto de órgãos responsáveis pela fonação humana e pela formação de fonemas**. 2018. Disponível em: <https://knoow.net/ciencsocioishuman/jornalismo/aparelho-fonador/>. Acesso em: 14 outubro de 2024.

SILVA, João. **Acústica musical: uma introdução**. São Paulo: Editora Som & Harmonia, 2021.