

Validação Técnica de Batidas Binaurais: Uma Análise Comparativa entre Produção Autoral e Conteúdos Online

Otávio Augusto Corrêa Queiróz Mendonça, Engenharia Biomédica, Centro Universitário Internacional - UNINTER, Brasil

Charles Way Hun Fung, Engenharia Biomédica, Centro Universitário Internacional - UNINTER, Brasil

Ederson Cichaczewski, Engenharia Biomédica, Centro Universitário Internacional - UNINTER, Brasil

As batidas binaurais resultam da reprodução simultânea de dois tons ligeiramente diferentes em cada ouvido, gerando uma batida correspondente à diferença entre as frequências. Este estudo analisou tecnicamente batidas binaurais em áudios disponíveis online, comparando-os com produções autorais. Para isso, empregou-se a Transformada Rápida de Fourier (FFT) na caracterização espectral dos sinais, permitindo identificar os componentes de frequência presentes em cada amostra. Vinte amostras foram processadas em Python para identificar frequência portadora, diferença de batida e presença de batidas alfa. Verificou-se que 70% dos áudios do YouTube apresentavam batidas alfa confirmadas, mas com grande variação técnica, enquanto todas as produções autorais foram validadas como binaurais alfa. Os resultados destacaram a necessidade de padronização técnica e validação científica para o uso terapêutico de batidas sonoras, reforçando o potencial da engenharia biomédica e da computação aplicada na garantia de qualidade e segurança em terapias auditivas digitais.

Palavras-chave: batidas binaurais. FFT. processamento de sinais. saúde digital. engenharia biomédica.

Binaural beats result from the simultaneous reproduction of two slightly different tones in each ear, generating a beat corresponding to the difference between the frequencies. This study technically analyzed binaural beats in audios available online, comparing them with authorial productions. For this, the Fast Fourier Transform (FFT) was used in the spectral characterization of the signals, allowing the frequency components present in each sample to be identified. Twenty samples were processed in Python to identify carrier frequency, beat difference and presence of alpha beats. It was found that 70% of YouTube audios had confirmed alpha beats, but with great technical variation, while all authorial productions were validated as alpha binaurals. The results highlighted the need for technical standardization and scientific validation for the therapeutic use of sound beats, reinforcing the potential of biomedical engineering and applied computing in ensuring quality and safety in digital auditory therapies.

Keywords: binaural beats. FFT. signal processing. digital health. biomedical engineering.

INTRODUÇÃO

O fenômeno das batidas binaurais foi descoberto em 1839 pelo físico e meteorologista alemão Heinrich Wilhelm Dove. Após a descoberta de Dove, o tema permaneceu relativamente obscuro por várias décadas. Somente no final do século XIX e início do século XX surgiram trabalhos em psicologia e fisiologia que exploraram o fenômeno como um fenômeno auditivo e perceptivo, sem necessariamente vinculá-lo a terapias. As batidas binaurais começaram a ser estudadas de forma mais aprofundada a partir da década de 1970 (Oster, 1973),

quando o cientista Gerald Oster publicou, na revista *Scientific American* (1973) o artigo “Auditory Beats in the Brain”. Nesse trabalho, Oster mostrou que as batidas binaurais não eram apenas uma curiosidade auditiva, mas poderiam ter implicações neurológicas e clínicas. Esse artigo abriu caminho para as pesquisas contemporâneas sobre seu uso em neurociência, psicologia e saúde.

A batida binaural é um fenômeno auditivo gerado quando dois tons de frequências ligeiramente diferentes são reproduzidos em canais separados, em cada ouvido. O cérebro humano interpreta a diferença de frequência como uma terceira batida, potencialmente modulando estados cerebrais (Wahbeh; Calabrese; Zwickey, 2007). Nas últimas décadas, devido ao avanço digital e plataformas online, a popularização de conteúdos digitais que se declaram “binaurais” fomentou a necessidade de validação técnica, sobretudo para aplicações em saúde digital (Chaieb et al., 2015). Apesar da crescente oferta de áudios online que se autodenominam binaurais, poucos estudos verificam a autenticidade das batidas (Vernon, 2009) ou caracterizam os parâmetros técnicos, como frequência portadora, intensidade ou diferença de batida.

Essa ausência de validação ocorre em um cenário no qual a produção de conteúdos terapêuticos sonoros tem se popularizado em plataformas como YouTube e aplicativos de bem-estar, muitas vezes sem supervisão científica ou controle de qualidade. Embora esses materiais sejam amplamente consumidos por indivíduos buscando alívio de ansiedade, melhora do foco e outras aplicações, falta uma padronização mínima que assegure que o estímulo apresentado corresponda ao que é anunciado. Isso cria uma lacuna crítica entre o que se promete ao usuário e o que de fato é entregue em termos de estímulo neuromodulatório. Há um registro escasso de produções científicas e tecnológicas que se debruçam especificamente sobre esta problemática. Até o presente trabalho, o mais próximo disso que encontramos foi a patente russa RU2571921C2 (GNIDKO; PILKEVICH, 2015), que apresenta uma técnica semelhante a de comparação entre picos, mas com foco em detectar, através de um filtro de conteúdo, batidas binaurais genéricas entre 0 e 25 Hz, visando expressar se a batida binaural analisada tem potencial malicioso para a saúde humana..

Quando parâmetros como frequência portadora e diferença de batida não são adequadamente controlados, o estímulo auditivo pode deixar de produzir o efeito cerebral desejado, ou, em alguns casos, gerar respostas fisiológicas diferentes das esperadas. Essa inconsistência técnica representa um risco para o usuário final, pois um conteúdo anunciado como “alfa para relaxamento”, mas que apresenta diferença de batida muito distante da faixa de 8–12 Hz, pode, na prática, induzir estados mentais discordantes, como maior excitação fisiológica associada às faixas beta ou gama.

Além disso, falhas como clipping, artefatos de compressão, discrepâncias entre canais e variações abruptas de amplitude podem comprometer não apenas a eficácia terapêutica, mas também a segurança auditiva mínima esperada para

esse tipo de intervenção. Outro ponto crítico é que a maior parte dos áudios disponíveis comercialmente ou de forma gratuita não apresenta documentação técnica sobre seu processo de geração, tornando impossível verificar se foram utilizados algoritmos confiáveis, se houve controle de fase, se a diferença de batida foi mantida constante ao longo do arquivo ou se o áudio passou por processamento que degradou sua estrutura espectral.

A falta de transparência e de metadados padronizados impede que pesquisadores repliquem ou avaliem esses materiais de forma rigorosa, o que limita o avanço das investigações na área e prejudica a construção de protocolos terapêuticos baseados em evidências. Durante a fase de revisão bibliográfica para a elaboração deste trabalho, não foi encontrado na literatura estudos que realizassem de forma objetiva a auditoria de áudios utilizados durante experimentos envolvendo batidas binaurais em saúde, mas sim apenas suas aplicações e investigações fenomenológicas, como resposta cognitiva ao longo do tempo, percepção de estados de humor, dentre outros. Isso expressa e reforça a necessidade de tal procedimento investigativo e analítico.

Dessa forma, a engenharia biomédica oferece ferramentas de processamento de sinais digitais que possibilitam análises objetivas e reproduzíveis, permitindo, por exemplo, a verificação espectral de cada canal, a identificação da diferença de batida real ao longo do tempo e a detecção de irregularidades técnicas. O presente estudo tem como objetivo definir critérios técnicos para a validação de batidas binaurais em termos de fidelidade espectral, integridade temporal e consistência de metadados; aplicar esses critérios em uma produção autoral de batidas binaurais e em conteúdos online disponíveis gratuitamente; e, por fim, comparar os resultados obtidos nas duas categorias para identificar eventuais discrepâncias técnicas e suas implicações para pesquisa, prática clínica e intervenções sonoras de uso pessoal.

MÉTODOS

Os conteúdos online de batidas binaurais variam amplamente em qualidade técnica, pois muitas vezes são produzidos com finalidade comercial ou de lazer e não sob critérios científicos. Estudos apontam que falhas metodológicas e falta de padronização comprometem a validade dos estímulos (Duncan, 2020; Prashak, 2025). Ao comparar produção autoral controlada com conteúdos online, é esperado que a produção autoral se mostre mais consistente tecnicamente, enquanto os conteúdos online podem apresentar variações de frequência, duração e baixa rastreabilidade. Essa comparação permite avaliar a adequação técnica dos estímulos para uso em pesquisa ou intervenção.

Buscou-se inicialmente investigar áudios disponíveis na plataforma YouTube que prometem estímulos binaurais - especificamente dentro da faixa de frequência alfa. Somado a essa investigação, também buscou-se validar áudios autorais gerados por uma ferramenta desenvolvida em linguagem Python, a fim

de aferir acurácia científica no que tange a análise de sinais. Este procedimento permite avançar na compreensão da eficácia do método, sem expor diretamente indivíduos vulneráveis a ensaios iniciais. A escolha pela análise de batidas binaurais na faixa de ondas alfa, que compreende a frequência entre 8 e 12 Hertz, fundamenta-se em evidências científicas (Wahbeh et al., 2018) e revisões bibliográficas que apontam sua associação com estados de relaxamento, atenção calma e redução de níveis de ansiedade (Oster, 1973).

Estudos em neurociência demonstram que o treinamento cerebral para o aumento de atividade alfa está relacionado a melhorias no equilíbrio emocional e no controle da excitação fisiológica (Carrillo et al., 2021). Assim, a utilização desse espectro é especialmente relevante para o público-alvo desta pesquisa. Em indivíduos neuro-divergentes, como os que se enquadram no espectro autista, observa-se frequentemente a presença de hiperexcitabilidade cortical e dificuldades no processamento sensorial, fatores que contribuem para estados de agitação e aumento da ansiedade (Orekhova et al., 2008). Estratégias não invasivas de neuromodulação auditiva, como as batidas binaurais, têm se mostrado promissoras na modulação da atividade elétrica cerebral, oferecendo uma alternativa de baixo custo, segura e de fácil aplicabilidade em contextos clínicos (Wahbeh et al., 2018).

Foram selecionados 10 áudios oriundos do YouTube que foram intitulados de batidas binaurais alfa, com duração mínima de 4 minutos e máxima de 2 horas. Todos os vídeos utilizados possuem licença de uso livre (*creative commons*). Com estes arquivos de áudio em formato WAV, foi possível realizar a catalogação e análise de sinais, permitindo a caracterização objetiva do fenômeno antes de possíveis e futuras aplicações clínicas. Amostras de áudio de 20 segundos foram geradas para cada áudio extraído. A utilização de trechos de 20 segundos mostrou-se suficiente para capturar a estrutura espectral fundamental dos áudios analisados. Isso ocorre porque muitos arquivos comerciais e autorais consistem de tonais contínuos ou loops repetitivos em que propriedades espectrais se mantêm por longos períodos. Somado a isso, batidas binaurais e monaurais apresentam componentes tonais estáveis, geralmente mantidos ao longo de toda a duração do arquivo, independentemente de o áudio completo ter minutos ou horas.

Em sinais tonais contínuos, a frequência portadora e a diferença de batida permanecem constantes, de modo que um segmento curto contém informação espectral idêntica ao restante do material. Além disso, uma janela de 20 segundos fornece tempo suficiente para que a análise espectral identifique com clareza os picos correspondentes à frequência portadora e à frequência da batida, evitando flutuações decorrentes de ruídos ou transições iniciais. Assim, essa duração oferece um equilíbrio adequado entre precisão técnica e eficiência computacional, permitindo avaliar rapidamente a fidelidade das batidas.

A ordem e catalogação das amostras de áudio oriundas de repositório online (YouTube) são mostradas na tabela 1.

Tabela 1 – Catalogação de amostras de áudio oriundas de repositório online (YouTube).

Amostra	Título do Vídeo
A1	Binaural Beat 10hz alpha Test
A2	10Hz 15 Minutes Alpha Pure Brain Waves Happiness Vibration & Serotonin Release
A3	432hz Healing Frequency - 10hz Alpha waves (Positive Vibrations)
A4	Binaural Para Ansiedade - Frequência Alpha 10HZ
A5	Binaurais Alpha 10Hz puro
A6	Binaural Beats - Ondas Alfa - 10hz
A7	BINAURAL BEATS 10HZ ONDAS ALFA - Estimule sua produção de serotonina e o relaxamento profundo
A8	Alpha Binaural + Isochronic Tones 1 Hour 10Hz
A9	Alpha Waves (10 Hz Fast Learning)
A10	Binaural Beats - Relaxing Pure Alpha (10Hz) Brain Waves

Para a criação de áudios binaurais autorais, as plataformas de bancos de áudios gratuitos Looperman e FreeSound foram usadas e com a licença creative commons, sons ambientes e efeitos sonoros foram utilizados como música de fundo para o arquivo final das batidas binaurais autorais. Em seguida detectou-se o tom musical principal destas músicas de fundo, usando a ferramenta de detecção de pitch no software Audacity. A utilização de músicas de fundo assim como a detecção do tom musical principal se justifica devido ao objetivo secundário de produzir batidas binaurais autorais que fossem confortáveis ao ouvido. Para alcançar tal conforto foi utilizado o princípio de gerar a frequência base da batida binaural em uma frequência de nota musical que possibilitasse harmonia com a música de fundo.

Por exemplo, ao detectar que uma música de fundo possuía tom musical principal na nota musical de Sol, utilizava-se a frequência de Sol, que corresponde a 98 Hz. Assim, a batida binaural era criada usando a frequência de 98 Hz do lado esquerdo e 108 Hz do lado direito, a fim de se obter no arquivo final a batida binaural resultante de 10 Hz, caracterizada como uma batida binaural Alfa. Com as músicas de fundo criadas e os tons detectados, a mixagem final entre a música de fundo e a batida binaural pura foi feita usando bibliotecas Python como suporte tecnológico. Foram geradas 10 batidas binaurais autorais com música de fundo de fundo mixada. Em seguida, estes áudios autorais foram transformados em 10 amostras de áudio, com duração de 20 segundos cada.

A ordem e catalogação das amostras de batidas binaurais autorais são mostradas na tabela 2.

Tabela 2 – Catalogação de amostras de batidas binaurais e parâmetros de configuração.

Amostra	Frequência Base (Hz)	Nota Musical
B1	69.30	Dó Sustenido
B2	92.50	Fá Sustenido
B3	220.00	Lá
B4	138.60	Dó Sustenido
B5	23.10	Fá Sustenido
B6	69.30	Dó Sustenido
B7	82.40	Mi
B8	97.30	Fá
B9	65.40	Dó
B10	174.80	Fá

Hz: Frequência em Hertz.

As bibliotecas Numpy e Scipy foram escolhidas como suporte para a análise devido ao seu grau de fácil abstração como também confiabilidade e escopo dentro da comunidade científica (Virtanen et al., 2019). Os resultados foram obtidos utilizando a ferramenta de análise de batidas binaurais desenvolvida e comparando as amostras de batidas autorais com as amostras oriundas do YouTube – aqui chamadas de batidas não-autorais – utilizando o algoritmo FFT como principal recurso matemático dentro da ferramenta desenvolvida. A Transformada Rápida de Fourier (FFT – Fast Fourier Transform) é um algoritmo amplamente utilizado na análise de sinais, pois permite converter um sinal no domínio do tempo para o domínio da frequência.

Na análise das batidas binaurais, a FFT foi aplicada para identificar as frequências predominantes em cada canal (esquerdo e direito) e calcular a diferença entre elas. Essa diferença é justamente a responsável pela percepção da batida binaural pelo ouvinte. Assim, a FFT forneceu uma representação clara e quantitativa das componentes harmônicas presentes nos áudios, permitindo verificar se as batidas foram corretamente sintetizadas e em qual faixa de frequência (alfa, beta, teta, etc.) ela se encontra. A FFT é uma forma computacional eficiente da Transformada Discreta de Fourier (DFT).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Cada canal (esquerdo e direito) das amostras de áudio foi normalizado e analisado através da Transformada Rápida de Fourier (FFT). Parâmetros como frequência portadora, diferença de frequência entre canais e frequência predominante foram registrados. A existência de batidas binaurais foi confirmada quando a diferença entre os picos de frequência de cada canal estava entre 8 Hz e 12 Hz, faixa característica da frequência alfa. Gráficos e tabelas foram gerados para visualização comparativa entre os grupos de amostras. Certas amostras de áudios não-autorais geraram gráficos com certo ruído acentuado. Isso se deve ao fato de que alguns desses áudios possuem música de fundo muito alta em comparação com a própria batida binaural, assim como também timbres de instrumentos que coincidem com as frequências portadoras.

Também ocorreram casos onde as amostras não apresentavam batidas binaurais concisas, variando em uma banda de frequência que não corresponde a faixa alfa. Isso pode ser observado graficamente através da Figura 1 que explicita tal resultado.

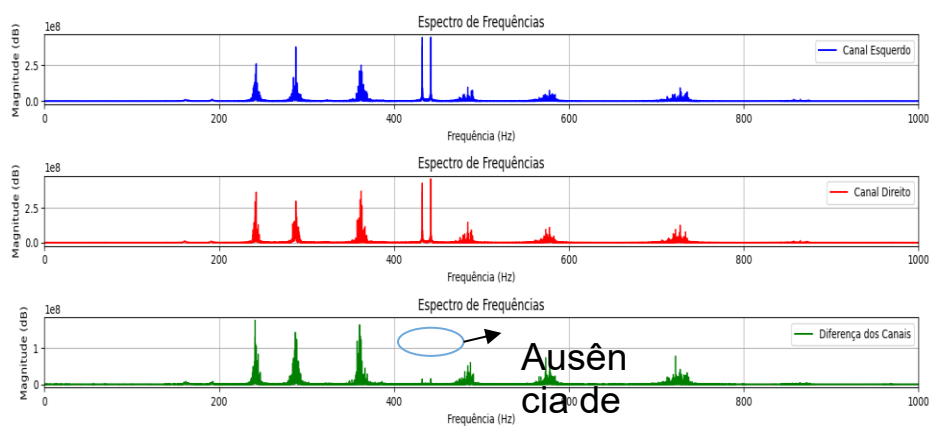


Figura 1 – Gráficos FFT da análise de sinais dos canais da amostra A3, sendo caracterizada como um áudio sem batida binaural.

Embora ocorram picos característicos de duas frequências distintas em dois canais diferentes, o espectrograma mostra que outras frequências interferem no resultado final. Em uma batida binaural autêntica, por mais que ocorram ruídos por conta da música de fundo ou de frequências persistentes, a manifestação de dois picos característicos é mostrada, cada um em um canal, que ao subtraírem, causam a percepção da frequência desejada. É o caso da amostra A7 da Tabela 1, cujo gráfico é disposto na Figura 2.

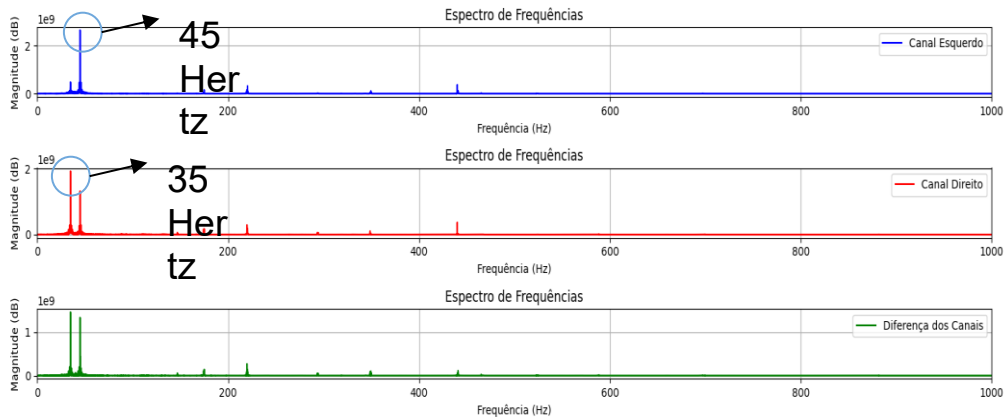


Figura 2 – Gráficos FFT da análise de sinais dos canais da amostra A7, sendo caracterizada como um áudio com batida binaural alfa.

A amostra A7 é uma batida binaural pois apresenta dois picos de frequência, 35 Hz e 45 Hz, e há uma diferença de frequência de 10 Hz. A amplitude em decibéis é importante diante da modulação entre música de fundo e batida binaural. Quando ocorre de a música ficar muito mais alta que a batida, podem ocorrer interferências e mascaramento das frequências desejadas. Em relação às batidas binaurais autorais, todas as amostras foram constatadas como batidas binaurais alfa, e os recursos de controle dos parâmetros utilizados (frequência portadora, predominância de sinais e volume) corresponderam aos parâmetros inseridos na ferramenta computacional desenvolvida. É possível verificar na Figura 3 o visual característico de um gráfico FFT de uma batida binaural sem interferência de sinais oriundos da música de fundo.

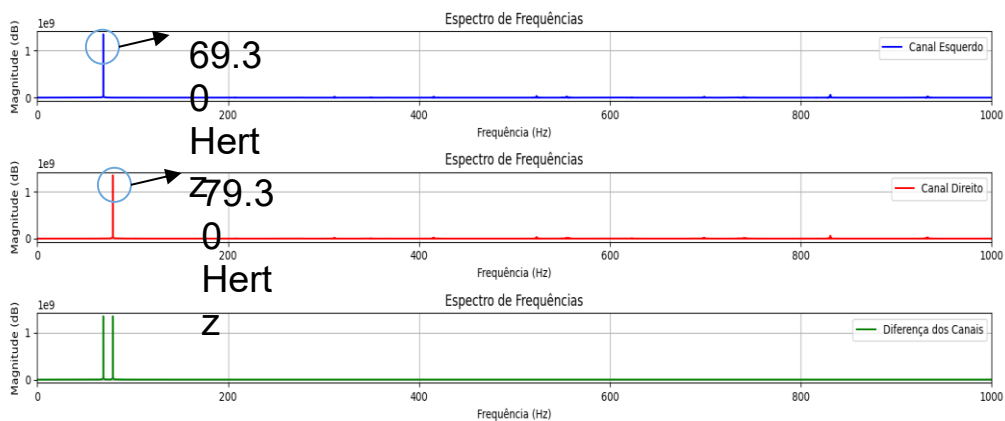


Figura 3 – Gráficos FFT da análise de sinais dos canais da amostra B1, sendo caracterizada como um áudio autorail com batida binaural alfa.

Outras amostras de áudio apresentaram ruídos em seus gráficos, entretanto estes mesmos ruídos não interferiram no resultado final pois as frequências das músicas de fundo por estarem em canal mono, ou seja, o mesmo som e frequência são reproduzidos em ambos os lados do fone de ouvido, e se cancelam ao serem tocados na mixagem final em stereo, onde diferentes sons

e frequências são reproduzidos em ambos os lados do fone de ouvido. Conteúdos online muitas vezes podem falhar em atender esses critérios, levando a potenciais erros de interpretação quanto à eficácia perceptiva ou fisiológica.

Na Figura 4 é mostrado o caso onde a música de fundo está mais baixa que a batida binaural. Já na Figura 5, os gráficos apresentam uma amostra onde a música de fundo está no mesmo nível da batida binaural.

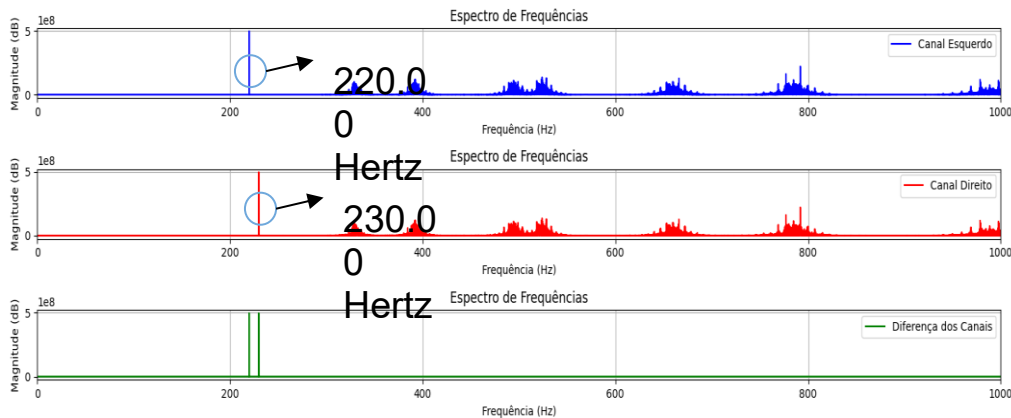


Figura 4 – Gráficos FFT da análise de sinais dos canais da amostra B3, sendo caracterizada como um áudio autoral com batida binaural alfa.

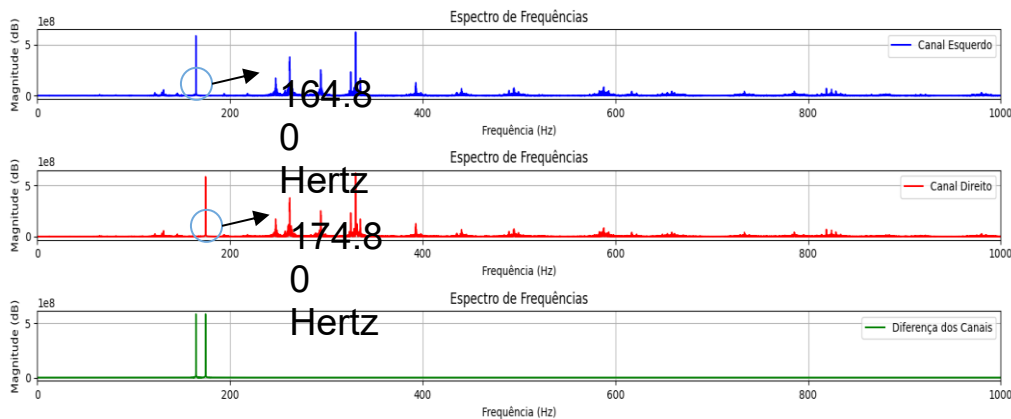


Figura 5 – Gráficos FFT da análise de sinais dos canais da amostra B10, sendo caracterizada como um áudio autoral com batida binaural alfa.

Analisando globalmente as amostras de áudio, confirma-se que 7 das 10 amostras de áudios online apresentam batidas binaurais alfa. Observou-se que a intensidade e frequência portadora variaram significativamente entre as amostras estudadas e analisadas, o que pode impactar a percepção e eficácia dos estímulos. Os gráficos espectrais evidenciaram que alguns áudios continham sobreposição de ruídos e frequências extras, denotando baixa qualidade técnica, enquanto outros apresentaram batidas consistentes e claramente definidas. A Tabela 3 mostra os parâmetros e resultados obtidos, incluindo frequência portadora entre os canais, diferença de batida e presença

de frequência alfa resultante, de cada amostra de áudio, referente à áudios extraídos do YouTube.

Tabela 3 – Resultados da análise e parâmetros medidos de batidas binaurais das amostras extraídas de áudios não-autorais oriundos de acervo online.

Amostra	Canal Esq. (Hz)	Canal Dir. (Hz)	Dif. de Canais	Binaural Alfa
A1	99.99	89.98	10.00	Sim
A2	120.00	127.85	7.85	Não
A3	241.05	360.55	119.50	Não
A4	240.00	230.00	10.00	Sim
A5	230.00	240.00	10.00	Sim
A6	538.02	527.98	10.04	Sim
A7	35.00	45.00	10.00	Sim
A8	145.00	135.00	10.00	Sim
A9	76.90	152.00	75.10	Não
A10	120.00	130.00	10.00	Sim

Hz: Frequência em Hertz.

Entre as amostras online avaliadas, três delas (A2, A3 e A9) não atenderam aos critérios de validação como batidas binaurais na faixa alfa. As amostras A2 e A3 apresentaram frequências incompatíveis com o intervalo esperado de 8 a 12 Hz. No caso de A2, a diferença de 7,85 Hz situa-se ligeiramente abaixo da faixa alfa, indicando um desvio pequeno, porém suficiente para descaracterizar o estímulo como alfa. Já a amostra A3 apresentou uma diferença de 119,50 Hz, valor muito acima do intervalo desejado, que não configura batida binaural funcional e impossibilita qualquer efeito associado às bandas cerebrais tradicionalmente estudadas.

A amostra A9, por sua vez, exibiu uma diferença interaural de 75,10 Hz, também muito superior à faixa alfa. Nesse caso, o estímulo situou-se em uma faixa típica de frequências rápidas, como beta elevada ou gama inicial. Essa discrepância é particularmente relevante, pois usuários que buscam estímulos alfa para relaxamento, foco suave ou redução de ansiedade podem estar sendo expostos a uma batida completamente diferente da proposta pelo conteúdo.

A Tabela 4 mostra os parâmetros e resultados obtidos, incluindo frequência portadora entre os canais, diferença de batida e presença de frequência alfa resultante, de cada amostra de áudio das batidas binaurais autorais criadas.

Tabela 4 – Resultados da análise e parâmetros medidos das amostras de batidas binaurais autorais.

Amostra	Canal Esq. (Hz)	Canal Dir. (Hz)	Dif. de Canais	Binaural Alfa
B1	69.30	79.30	10.00	Sim
B2	102.50	92.50	10.00	Sim
B3	220.00	230.00	10.00	Sim
B4	138.60	148.60	10.00	Sim
B5	23.10	33.10	10.00	Sim
B6	69.30	79.30	10.00	Sim
B7	82.40	92.40	10.00	Sim
B8	97.30	87.30	10.00	Sim
B9	65.40	75.40	10.00	Sim
B10	174.80	164.80	10.00	Sim

Hz: Frequência em Hertz.

Os resultados deste estudo evidenciam uma distinção clara entre as produções autorais e os conteúdos online analisados. Todas as batidas binaurais autorais foram validadas como estímulos alfa, apresentando parâmetros consistentes e alinhados com a faixa de interesse (8–12 Hz). Esse achado demonstra que, quando os estímulos são projetados com controle técnico e conhecimento dos princípios de processamento de sinais, é possível garantir fidelidade espectral e coerência entre a proposta e o resultado entregue ao usuário.

Por outro lado, entre as dez amostras provenientes de repositórios online, três delas (A2, A3 e A9) não foram classificadas como batidas binaurais alfa. A A2 apresentou diferença inferior ao intervalo desejado; A3 e A9 exibiram discrepâncias extremamente elevadas, incompatíveis com qualquer faixa terapêutica estudada. Esse tipo de divergência técnica representa um risco para o usuário final, sobretudo quando o áudio é consumido com finalidade terapêutica ou regulatória do estado mental. Estímulos na faixa beta ou gama podem induzir condições opostas às desejadas, potencialmente aumentando ativação cortical, agitação ou dificultando processos de relaxamento.

Assim, a análise dessas três amostras evidencia a importância de validar tecnicamente conteúdos disponibilizados online, reforçando que a ausência de controle de qualidade pode comprometer tanto a eficácia quanto a segurança do uso de batidas sonoras no contexto de saúde digital. Mesmo quando o conteúdo é rotulado como “alfa”, “relaxamento” ou “redução de ansiedade”, a falta de padronização técnica pode levar à entrega de estímulos incorretos, o que compromete tanto a expectativa do usuário quanto a credibilidade das aplicações auditivas digitais.

Além disso, a Tabela 3 revela um aspecto adicional relevante: mesmo entre as amostras validadas como alfa, as frequências portadoras variaram amplamente. Enquanto a amostra A7 utilizou portadoras relativamente baixas (35 Hz e 45 Hz), outras, como a A6, adotaram valores significativamente mais altos (538,02 Hz e

527,98 Hz). Embora a literatura sobre batidas binaurais tradicionalmente enfatize a diferença interaural como o componente central do estímulo, há evidências de que a frequência portadora também exerce influência sobre a forma como o cérebro processa o sinal (Oster, 1973). Essa variabilidade observada nas portadoras indica que diferentes áudios, mesmo quando ajustados na faixa específica desejada, podem produzir experiências sensoriais e respostas neurofisiológicas distintas.

Estudos posteriores ainda reforçam que parâmetros acústicos, incluindo a frequência portadora, influenciam tanto a clareza perceptiva quanto o potencial de modulação cognitiva e emocional associado ao estímulo (Chaieb et al., 2015). Revisões mais amplas também apontam que variações metodológicas nos estímulos sonoros podem alterar significativamente seus efeitos neurofisiológicos, destacando a necessidade de maior padronização técnica (Vernon, 2009; Wahbeh et al., 2018).

Assim, o simples fato de a diferença de frequências situar-se entre 8 e 12 Hz não garante uniformidade no efeito final. Do ponto de vista da engenharia biomédica, isso significa que validações futuras não devem limitar-se à detecção da batida, mas também incluir parâmetros como amplitude relativa, simetria entre canais, faixa de frequência portadora e estabilidade de sinal.

Em conjunto, esses achados apontam para a necessidade urgente de estabelecer critérios técnicos padronizados para produção e divulgação de batidas binaurais, especialmente quando destinadas a finalidades terapêuticas ou de regulação emocional. A ausência de padronização pode levar à distribuição de estímulos inconsistentes ou inadequados, com impacto direto sobre a eficácia de intervenções auditivas digitais. O presente estudo reforça, portanto, a importância da contribuição da engenharia biomédica na criação de ferramentas de validação objetiva que garantam segurança, qualidade e previsibilidade no uso de batidas binaurais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ferramenta desenvolvida utilizada para as análises deste trabalho apresenta potencial para criação de protocolos padronizados, essenciais para ensaios clínicos e aplicações terapêuticas seguras. A falta de padronização nos conteúdos online evidencia o risco de experiências ineficazes ou inconsistentes em usuários finais, podendo gerar efeitos indesejados, ineficazes ou oriundos de placebo. O estudo demonstra que uma abordagem técnica baseada em processamento de sinais é eficaz para validar e caracterizar batidas binaurais em áudios online e produzidos digitalmente. Aproximadamente 70% dos conteúdos analisados oriundos da internet apresentaram batidas reais, mas a variabilidade técnica ainda representa um desafio.

Embora a análise por trechos seja eficaz para sinais estáveis, recomenda-se que estudos futuros incluam amostragem em múltiplos pontos do áudio original, especialmente em conteúdos online que possam apresentar variações de

intensidade, manipulação dinâmica ou transições ao longo do tempo. Essa abordagem ampliará a robustez da caracterização técnica e permitirá detectar eventuais inconsistências. Futuros trabalhos devem ser realizados como forma de viabilizar a criação de protocolos padronizados de frequência e intensidade; integração em dispositivos de saúde digital para monitoramento em tempo real e ensaios clínicos para avaliação de efeitos terapêuticos consistentes.

Além disso, recomenda-se que estudos futuros sejam conduzidos com um número maior de amostras, abrangendo diferentes plataformas e estilos de produção, de modo a aumentar a representatividade dos achados e fortalecer a robustez estatística das análises. Uma ampliação da base de dados permitirá verificar se os padrões observados neste estudo se mantêm em um cenário mais amplo, contribuindo para a consolidação de critérios técnicos confiáveis para validação de batidas binaurais.

A continuidade do estudo e desenvolvimento de ferramentas para análise técnica permitirá gerar e identificar áudios de qualidade superior, que poderão ser integrados em plataformas de saúde digital e dispositivos de engenharia biomédica, como wearables e Interface Cérebro-Computador.

AGRADECIMENTOS

Ao Centro Universitário Internacional UNINTER, à Escola Superior Politécnica e ao curso de Engenharia Biomédica pelo suporte institucional.

REFERÊNCIAS

CARRILLO, L. H.; GARCÍA-GIL, J. I.; LÓPEZ DEL HOYO, A. et al. Modulation of EEG alpha power through auditory binaural beats: A systematic review. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, v. 46, n. 3, p. 223–233, 2021.

CHAIEB, L.; WILPERT, E. C.; REBER, T. P.; FELL, J. Auditory beat stimulation and its effects on cognition and mood states. *Frontiers in Psychiatry*, v. 6, p. 70, 2015.

DUNCAN, C. A study on the effect of beta frequency binaural beats on focus in the classroom. *South Carolina Junior Academy of Science*, Paper 35, 2020.

GNIDKO, K. O.; PILKEVICH, S. V. Method for filtering the effect of binaural beats in audio flows. *RU2571921C2*, 2015. Disponível em: <https://patents.google.com/patent/RU2571921C2/en>. Acesso em: 16/11/2025.

OREKHOVA, J.; STROGANOVA, T.; PROKOFYEV, A. et al. Sensory gating in young children with autism: relation to age, IQ, and EEG gamma oscillations. *Cerebral Cortex*, v. 18, n. 1, p. 184–195, 2008.

OSTER, G. Auditory beats in the brain. *Scientific American*, v. 229, n. 4, p. 94–102, 1973.

PRASHAK, P. Brainwave entrainment using binaural beats stimulation. *Computers & Electrical Engineering*, v. 101, 108230, 2025.

VERNON, D. Binaural beats: psychological and physiological effects. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, v. 33, n. 8, p. 1039–1055, 2009.

VIRTANEN, P.; GOMMERS, R.; OLIPHANT, T. E. et al. SciPy 1.0—Fundamental algorithms for scientific computing in Python. *arXiv preprint*, 2019.

WAHBEH, H.; CALABRESE, C.; ZWICKEY, H. Binaural beat technology in humans: a pilot study to assess psychologic and physiologic effects. *Journal of Alternative and Complementary Medicine*, v. 13, n. 1, p. 25–32, 2007.

WAHBEH, H. et al. Effects of binaural beat audio on anxiety and cognition: a systematic review. *Complementary Therapies in Medicine*, v. 39, p. 1–10, 2018.