

## XII CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO IFSP ITAPETININGA

Itapetininga, 19, 20 e 21 de maio de 2026

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

Campus Itapetininga

### **Irmãos de Palheta: Uma Investigação Acústica sobre as Diferenças Timbrais do Saxofone Soprano e do Clarinete**

Danilo Augusto Alves Rodrigues – PIBIC/CNPq – IFSP<sup>1</sup>

Davi Soares Vilar – PIBIC/CNPq – IFSP<sup>2</sup>

Prof. Dr. Emanuel Benedito de Melo – IFSP e PPGMUS-UNESP<sup>3</sup>

#### **Introdução**

A compreensão do timbre dos instrumentos musicais está além da questão do material com o qual são feitos, pois a geometria de seus tubos acústicos e a forma como as ondas sonoras se comportam em seu interior alteram diretamente essa propriedade musical. Dentre os instrumentos de sopro (também chamados de aerofones), o clarinete e o saxofone soprano apresentam um excelente ponto de partida para estudos de acústica comparada. Ambos utilizam o sistema de palheta simples, onde uma palheta de madeira, ou até materiais sintéticos, vibra criando a excitação do som, e em suas versões mais comuns, são instrumentos transpositores afinados em Si bemol (Bb). Conseqüentemente, ao tocarem a nota Si<sub>4</sub> escrita em suas respectivas partituras, ambos emitem a frequência real correspondente ao Lá<sub>4</sub> de concerto (aproximadamente 440 Hz). Contudo, apesar dessas similaridades operacionais e de registro, a sonoridade percebida de cada instrumento é notavelmente distinta. Essa diferença timbral encontra sua explicação na física acústica, mais especificamente no perfil de perfuração (calibre) dos tubos. O clarinete possui um tubo de perfil predominantemente cilíndrico que, acusticamente, atua como um tubo fechado em uma das extremidades. Essa característica faz com que, em seu registro grave, o instrumento reforce principalmente os harmônicos ímpares da série harmônica. Por outro lado, o saxofone soprano possui um tubo de perfil cônico. De acordo com os princípios da acústica musical (BENADE, 1990), tubos cônicos comportam-se de maneira semelhante a tubos abertos em ambas as extremidades, permitindo a formação e propagação tanto dos harmônicos pares quanto dos ímpares, o que resulta em um som mais rico e complexo em sua totalidade harmônica. O clarinete é um aerofone de palheta simples cuja origem remonta ao início do século XVIII. Historicamente, credita-se a sua invenção ao *luthier* alemão Johann Christoph Denner, por volta do ano 1700, na cidade de Nuremberg. Denner desenvolveu o instrumento a partir do aprimoramento do *chalumeau*, um instrumento rústico de palheta simples cilíndrico que possuía um alcance limitado a pouco mais de uma oitava. A grande inovação de Denner foi a adição de orifícios e chaves, sendo a mais importante delas a chave de registro. Enquanto o *chalumeau* operava apenas em sua frequência fundamental, a nova chave permitiu que o instrumento "saltasse" de registro acústico. Devido ao seu comportamento como um tubo fechado, esse salto não ocorre para a oitava superior (como na flauta ou no saxofone), mas sim para uma décima segunda acima (uma oitava somada a uma quinta justa). A invenção do saxofone é atribuída ao belga Antoine Joseph Sax conhecido como Adolphe Sax, um construtor de instrumentos, Sax mudou-se para Paris, aos 25 anos, focado em desenvolver novos

<sup>1</sup>Estudante do curso de Licenciatura em Física, IFSP Itapetininga/SP. E-mail [danilo.rodrigues@aluno.ifsp.edu.br](mailto:danilo.rodrigues@aluno.ifsp.edu.br) ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-2620-1086>

<sup>2</sup>Estudante do curso de Técnico em Informática Integrado ao Ensino Médio, IFSP Itapetininga/SP. E-mail: [soares.vilar@aluno.ifsp.edu.br](mailto:soares.vilar@aluno.ifsp.edu.br) ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5051-6684>

<sup>3</sup>Docente do IFSP, Orientador, Itapetininga/SP. E-mail: [ebm@ifsp.edu.br](mailto:ebm@ifsp.edu.br) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2260-8899>

## **XII CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO IFSP ITAPETININGA**

Itapetininga, 19, 20 e 21 de maio de 2026

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

*Campus Itapetininga*

projetos. A concepção do novo instrumento surgiu exatamente dessas experimentações, quando ele decidiu acoplar uma boquilha semelhante à do clarinete ao corpo de um oficleide. A data exata da criação deste instrumento foi em 28 de junho de 1841. A partir disso podemos comentar que a ideia do sax partiu, de certa forma, do clarinete, visando um instrumento com timbre amadeirado, porém com mais potência sonora. Para compreender as diferenças timbrais analisadas neste estudo, é imprescindível entender o comportamento da série harmônica, visto que o som emitido por um instrumento não é uma frequência pura, mas sim a sobreposição de uma frequência fundamental, que define a altura da nota percebida, e de múltiplas frequências adicionais simultâneas. Matematicamente, esses harmônicos são múltiplos inteiros da frequência fundamental, expressos pela relação  $f_n = n \cdot f_1$ . A geometria do tubo de cada instrumento dita quais desses múltiplos vão ressoar em seu interior. Os harmônicos pares atuam reforçando relações de oitava, o que confere ao som uma característica mais redonda e encorpada, fenômeno perfeitamente suportado pelo tubo cônico do saxofone soprano, que permite a formação de toda a série harmônica de maneira contínua. Em contrapartida, os harmônicos ímpares introduzem outros intervalos acústicos, como quintas e terças, adicionando cores específicas ao timbre. No caso de tubos cilíndricos que operam como fechados em uma extremidade, como o do clarinete, a reflexão interna das ondas provoca o cancelamento de fase dos múltiplos pares, concentrando a energia acústica quase exclusivamente nos harmônicos ímpares, o que justifica a sonoridade caracteristicamente oca e amadeirada do instrumento em seu registro grave. Diante desse contexto, o presente trabalho tem como objetivo analisar e comparar a assinatura acústica do clarinete e do saxofone soprano. Por meio da captação de áudio e posterior análise de formas de onda e espectrogramas utilizando o software *Audacity*, busca-se visualizar as diferenças na distribuição de energia espectral de ambos os instrumentos ao executarem a mesma frequência fundamental, evidenciando de forma gráfica como a geometria do instrumento dita o seu timbre.

### **Objetivo**

O presente trabalho tem como objetivo comparar a assinatura acústica e as características timbrais do saxofone soprano e do clarinete, analisando como as diferenças na geometria de seus tubos, cônico e cilíndrico, respectivamente, afetam a produção do som durante a execução da mesma frequência fundamental de 440 Hz. Para atingir esse propósito, a pesquisa propõe captar amostras de áudio de ambos os instrumentos executando a nota Si4 (correspondente ao Lá4 de concerto) para, em seguida, gerar e analisar as formas de onda e os espectrogramas desses sons utilizando o software *Audacity*. A partir dessa análise gráfica, busca-se identificar a distribuição de energia na série harmônica de cada instrumento, observando especificamente o comportamento dos harmônicos pares e ímpares, a fim de correlacionar os dados empíricos e visuais com os princípios teóricos da acústica musical e da ciência aplicada a aerofones de palheta simples.

### **Metodologia**

A primeira etapa consiste na gravação dos sons dos instrumentos em questão. Para isso, será selecionada uma nota específica para garantir uma amostragem representativa. Utilizaremos a Si4, pois o saxofone e o clarinete são instrumentos transpositores, ou seja, a nota tocada mecanicamente no instrumento corresponde a outra nota real. Os dois instrumentos são afinados em Si bemol, apresentando a diferença de uma segunda maior

## **XII CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO IFSP ITAPETININGA**

Itapetininga, 19, 20 e 21 de maio de 2026

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

*Campus Itapetininga*

(um tom) abaixo do som real. Isso significa que, ao tocarmos a nota Dó escrita na partitura, soará um Si bemol. Portanto, para captarmos a frequência real correspondente ao Lá4 de concerto (440 Hz), é necessário que o instrumentista execute a nota Si4. As gravações serão realizadas utilizando microfones posicionados a uma distância padronizada do instrumento. Essa padronização é crucial para garantir a comparabilidade dos dados, pois variações na distância ou no posicionamento do microfone podem alterar as características do som captado. Após a captação, os arquivos de áudio serão importados para o software Audacity, onde serão realizadas as análises espectrais. O Audacity permite visualizar o espectro de frequências de cada som, identificando a frequência fundamental, os harmônicos e os formantes. A análise espectral é uma etapa fundamental, pois permite decompor o som em suas componentes frequências, revelando informações que não são perceptíveis ao ouvido humano. Essa decomposição é essencial para entender como os diferentes harmônicos e formantes contribuem para a formação do timbre característico de cada instrumento. Na fase final, os resultados obtidos nas etapas anteriores serão comparados e interpretados. Serão identificados padrões acústicos comuns entre os instrumentos, assim como as diferenças morfológicas que caracterizam cada um deles. A interpretação dos resultados é uma etapa crítica, pois é nela que os dados são transformados em conhecimento.

### **Resultados**

Quanto ao formato da onda: A análise visual das formas de onda obtidas evidencia distinções morfológicas significativas que comprovam os princípios acústicos de cada instrumento. A onda gerada pelo clarinete apresenta um contorno mais achatado e contínuo em suas cristas e vales, aproximando-se do perfil de uma onda quadrada, o que configura um indicativo visual clássico da forte predominância de harmônicos ímpares em sua composição espectral. Em contrapartida, a forma de onda captada do saxofone soprano exibe um padrão temporal notavelmente mais complexo e serrilhado, caracterizado por picos agudos e múltiplas flutuações internas ao longo de um único ciclo da frequência fundamental, refletindo diretamente a presença e a interação simultânea de harmônicos pares e ímpares decorrentes da ressonância em seu tubo de geometria cônica. A análise comparativa dos espectrogramas revela distinções cruciais na distribuição de energia ao longo da série harmônica de cada instrumento, confirmando as expectativas teóricas. No registro referente ao clarinete, observa-se um padrão visual de faixas horizontais com intensidades alternadas, onde a forte presença da frequência fundamental e dos harmônicos ímpares contrasta acentuadamente com a supressão ou acentuada fraqueza dos harmônicos pares adjacentes, um comportamento espectral característico de tubos de formato cilíndrico fechados em uma das extremidades. De maneira oposta, o espectrograma do saxofone soprano exibe uma densidade espectral muito mais contínua e homogênea, com estrias horizontais brilhantes e sucessivas que atestam a presença robusta tanto dos harmônicos pares quanto dos ímpares, refletindo o comportamento acústico de um tubo de perfil cônico que atua de forma análoga a um tubo aberto em ambas as extremidades, justificando a percepção de um timbre inerentemente mais brilhante e complexo. A análise bidimensional do espectro de frequência fornece a comprovação gráfica quantitativa das diferenças estruturais de ressonância entre os instrumentos. No gráfico referente ao clarinete, observa-se o pico proeminente da frequência fundamental (aproximadamente 440 Hz) seguido por uma drástica atenuação do segundo harmônico (na

## **XII CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO IFSP ITAPETININGA**

Itapetininga, 19, 20 e 21 de maio de 2026

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

*Campus Itapetininga*

região de 880 Hz) e dos harmônicos pares subsequentes, estabelecendo um padrão visual de picos de energia alternados que comprova a fortíssima predominância dos harmônicos ímpares inerente aos tubos cilíndricos fechados. Em contraste, o perfil espectral do saxofone soprano revela uma sucessão robusta e contínua de picos, com especial destaque para a forte presença do segundo harmônico apresentando uma amplitude muito próxima à da própria fundamental, o que atesta a emissão simultânea e contundente de harmônicos pares e ímpares ditada por sua geometria cônica.

### **Conclusão**

Com base nas análises gráficas realizadas, conclui-se que as marcantes diferenças timbrais percebidas entre o clarinete e o saxofone soprano decorrem intrinsecamente da geometria de seus tubos acústicos. O experimento prático confirmou com precisão os postulados teóricos da organologia e da física musical: o tubo predominantemente cilíndrico do clarinete comportou-se acusticamente como um tubo fechado em uma de suas extremidades, resultando em uma forma de onda com aproximação quadrada e na evidente supressão de seus harmônicos pares no espectro de frequência. Em contrapartida, o formato cônico do saxofone soprano operou analogamente a um tubo aberto em ambas as extremidades, gerando uma onda temporal complexa e um espectro denso, preenchido de forma robusta por harmônicos pares e ímpares simultaneamente. Dessa forma, o presente trabalho atinge seu objetivo ao evidenciar o impacto determinante da forma física do aerofone em sua assinatura sonora, demonstrando também a eficácia de ferramentas gratuitas de análise digital de áudio no estudo e na visualização empírica de fenômenos acústicos.

### **Referências**

BENADE, Arthur H. *Fundamentals of Musical Acoustics*. 2. ed. New York: Dover Publications, 1990.  
HENRIQUE, Luís. *Acústica Musical*. 2. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2007.  
ROSSING, Thomas D.; MOORE, Richard F.; WHEELER, Paul A. *The Science of Sound*. 3. ed. San Francisco: Addison Wesley, 2001.