DOI 10.20504/opus2026.32.36
Dossiê A pesquisa em Pedagogia Vocal na atualidade brasileira: recortes e diálogos interdisciplinares

O papel da inertância na técnica do canto lírico: ciência e pedagogia

Marcelo Ferreira Gomes Melo e **Silva**
https://orcid.org/0009-0006-2895-7260
Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

Resumo: Este trabalho discute o papel da inertância na técnica do canto lírico, abordando tanto a ciência quanto a pedagogia envolvida. A eficiência vocal é destacada como um aspecto de importância para os cantores líricos, que enfrentam desafios semelhantes aos de atletas de alta performance devido à ausência de amplificação eletrônica e ao crescimento das salas de apresentação e das orquestras. A inertância do ar, propriedade física que facilita a vibração das pregas vocais, é apresentada como um fator pouco explorado pela pedagogia, mas fundamental para a eficiência vocal. O artigo propõe uma explicação acessível desse conceito, uma análise cronológica de estudos sobre o tema e uma comparação com o ensino tradicional do canto lírico, discutindo suas implicações pedagógicas. O objetivo é fornecer informações práticas e científicas que possam influenciar positivamente o ensino e a prática do canto lírico. O artigo demonstra como uma compreensão da inertância é instrumental para um entendimento aprofundado dos fenômenos associados ao canto lírico, e aponta diversos caminhos pelos quais esta compreensão pode informar e refinar o ensino dessa forma de canto.

Palavras-chave: Inertância. Canto lírico. Não-linearidade. Pedagogia.

The role of inertance in the technique of western classical singing: science and pedagogy

Abstract: This paper discusses the role of inertance in the technique of western classical singing, addressing both the science and the pedagogy involved. Vocal efficiency is highlighted as an aspect of importance for western classical singers, who face challenges like those of high-performance athletes due to the absence of electronic amplification and the growth of performance halls and orchestras. Air inertance, a physical property that facilitates the vibration of the vocal folds, is presented as a factor underexplored by pedagogy, but fundamental for vocal efficiency. The article proposes an accessible explanation of this concept, a chronological analysis of studies on the subject and a comparison with the traditional teaching of western classical singing, discussing its pedagogical implications. The objective is to provide practical and scientific information that can positively influence the teaching and practice of western classical singing. The article demonstrates how an understanding of inertance is instrumental to a deeper understanding of the phenomena associated with western classical singing and points out several ways in which this understanding can inform and refine its teaching.

Keywords: Inertance. Western classical singing. Non-linearity. Pedagogy.

SILVA, Marcelo Ferreira Gomes Melo e. O papel da inertância na técnica do canto lírico: ciência e pedagogia. *Opus* (Assoc. Nac. Pesqui. Pós-Grad. Música), João Pessoa, v. 32, e263236, p. 1-17, 2026. http://dx.doi.org/10.20504/opus2026.32.36
Recebido em 28/02/2025, aprovado em 03/08/2025, publicado em 28/10/2026
Editor Responsável: Dr. Vinícius Eufrásio
Editores de Seção: Dra. Joana Mariz e Dra. Viviane Kubo

Sataloff (2006), na introdução de seu livro *Vocal Health and Pedagogy*, afirma que os cantores são comparáveis a atletas olímpicos do mundo da voz. Assim como nos esportes, cada estilo de canto tem seus desafios específicos, e muitos dos desafios do canto lírico surgem da necessidade de lidar com a ausência de amplificação eletrônica. Esses desafios se intensificaram com o passar dos séculos devido ao aumento do tamanho das salas de apresentação (Miller, 1996), ao surgimento de instrumentos musicais com maior volume sonoro e ao crescimento do número de integrantes das orquestras (Stark, 1999). Ao considerarmos também a longa duração de algumas óperas e outras obras extensas, os cantores líricos podem ser comparados a maratonistas dentro da analogia esportiva. Neste sentido, a eficiência vocal se torna crucial para estes profissionais.

Uma propriedade física relacionada à eficiência da produção vocal, ainda pouco explorada pela pedagogia vocal, é a inertância do ar dentro do instrumento da voz. A inertância facilita a vibração das pregas vocais e está relacionada a questões associadas a uma melhor eficiência no canto lírico, como a produção do formante do cantor (Titze, 2001), a manutenção de longas frases sem grande resistência glótica (Schutte e Miller 1986) e o uso consciente dos fenômenos de registro para uma técnica vocal mais eficiente (Titze, 2007).

Desta forma, o objetivo deste estudo é reunir em um único texto um número razoável de informações sobre a inertância na produção da voz humana, juntamente com uma discussão prática sobre como esse conceito pode influenciar a atividade de cantores e professores de canto lírico.

A primeira parte deste texto tenta explicar o conceito de inertância de forma acessível para cantores e professores de canto interessados nas ciências da voz. Em seguida, é realizada uma revisão bibliográfica sobre a cronologia dos estudos dessa propriedade, desde sua origem na engenharia e na computação até seu uso na fonoaudiologia e na vocologia, além de uma investigação do uso do conceito na literatura didática do canto lírico, especialmente nos livros-texto. Por fim, foram incorporadas análises dos principais efeitos da inertância na produção da voz, promovendo uma confrontação com o ensino tradicional do canto lírico e com a experiência do autor nessa área, visando discutir as suas implicações pedagógicas.

1. O conceito de inertância

Embora seja possível explicar a ideia geral de inertância de forma simplificada, é importante abordar algumas especificidades para entender seus efeitos sobre a voz e o canto lírico. O termo "inertância" deriva do conceito de **inércia**, que se refere à resistência de um corpo em alterar seu estado, seja ele de movimento ou de repouso. Para iniciar o movimento de um corpo ou para interromper um corpo em movimento, é necessária a aplicação de uma força específica. O conceito de inércia também é relevante quando se pretende acelerar ou desacelerar o movimento. Quanto maior a força necessária para efetuar tais mudanças, maior será a inércia.

Uma das situações em que o conceito de **inertância** é aplicado ocorre na avaliação da inércia de um líquido em movimento contínuo dentro de um espaço confinado, como a água fluindo por um tubo. Neste contexto, é necessária uma determinada quantidade de força para iniciar o movimento desse líquido e, mesmo após a cessação dessa força, o líquido continuará em movimento até que uma força contrária

seja aplicada. Habash (2005) define a inertância hidráulica (I) como I = Lp/A, onde L é a distância entre os pontos onde a pressão está sendo medida, p é a densidade do fluido e A é a área da seção transversal. A partir dessa equação, se chega às seguintes simplificações heurísticas: a inertância aumenta com o comprimento e diminui com a largura.

O comportamento do ar difere significativamente dos líquidos, principalmente em função da sua alta compressibilidade, que resulta em grandes variações de densidade ao longo do sistema. No caso da produção vocal, há ainda outros fatores a serem considerados. Primeiramente, o fluxo não é contínuo, mas sim alternado, devido à abertura e fechamento das pregas vocais. Em segundo lugar, todo esse gás vibra em diversas frequências, afastando-se ainda mais do modelo de um líquido fluindo em um tubo.

Para compreender a inertância na produção da voz, é preciso primeiro entender o conceito geral de **impedância**, presente em diversos ramos da ciência. Titze (2021) propõe uma explicação simplificada ao sugerir que a impedância pode ser entendida como a proporção entre um estímulo e uma resposta, afirmando que quanto menor a resposta, maior a impedância. O estudo da impedância em sistemas mecânicos é feito muitas vezes por meio de analogias com sistemas elétricos. Já na década de 1930, Floyd A. Firestone propôs uma síntese que permite entender fenômenos mecânicos através de formulações originalmente pertencentes ao campo da eletricidade (Gaget, 2019).

Em eletricidade, **impedância** se refere a toda oposição à corrente elétrica. Em uma corrente contínua, análoga ao caso de um tubo com um fluxo de água contínuo, impedância e resistência têm o mesmo valor. É apenas no caso de uma corrente alternada onde é necessária uma diferenciação dos dois conceitos. Em uma corrente alternada, análoga ao nosso fluxo de ar oscilante durante a fonação, a resposta do sistema ao estímulo pode ser tanto imediata quanto não imediata, e passa a depender da frequência. As respostas negativas imediatas à corrente vão ser chamadas de resistência, na forma da dissipação da energia em forma de calor. As outras respostas, onde existe um acúmulo e descarga de energia, serão chamadas de **reatância**, podendo ser **capacitiva** ou **indutiva** (Santos, 2011, p. 97-100). Como a reatância é representada por um número irreal, esta não pode ser combinada à resistência, tendo assim a impedância em correntes alternadas sempre esses dois componentes.

Num sistema acústico, a resistência descreve respostas imediatas que resultarão em dissipação de energia em forma de calor, como o atrito e a força de arrasto[1]. De acordo com Kinsler *et al*. (2000, p. 287), para as respostas não imediatas, os termos **complacência** e **inertância** são utilizados analogamente à capacitância e indutância, respectivamente. Ambos se referem ao comportamento do ar dentro de uma região compacta, ou seja, em um volume cujas dimensões são muito menores do que o comprimento da onda sonora produzida, como ocorre no caso da voz humana e seus ressonadores. A complacência se refere ao acúmulo de energia gerado pela compressão do ar, enquanto a inertância, ou "reatância inertante" da impedância acústica, ocorre quando o ar é acelerado dentro de uma região compacta, como no trato vocal humano, acumulando energia no movimento da massa de ar.

[1] Resistência que um fluido exerce sobre um objeto que se move através dele.

Considerando que a voz humana é um sistema vibratório, a frequência da vibração torna-se um fator relevante, pois estamos em situação análoga a uma corrente alternada. Conforme explicado por Wolfe, "aqui, a pressão é necessária porque o volume de ar sendo acelerado tem massa. É por isso que Z é proporcional a ω: vibração em frequências mais altas requer maior aceleração e, portanto, maior pressão acústica"[2] (Wolfe, 1991, n.p., tradução nossa).[3] A partir dessa afirmação, chega-se a mais uma simplificação heurística importante para compreender esses efeitos na voz e no canto lírico: **quanto maior a frequência, maior a inertância**.

Em resumo, o termo impedância se refere a todas as formas de oposição a um estímulo. Inertância se refere a um tipo bem mais específico de oposição, resultado do acúmulo e liberação de energia de um fluido em movimento em um espaço confinado devido à sua inércia.

2. A inertância na pesquisa da ciência da voz e na literatura didática do canto

Na literatura sobre a voz, o conceito de impedância surge desde cedo. Já a discussão sobre a inertância como propriedade específica, assim como a difusão desse termo, ganhou força sobretudo a partir do final do século XX. Algumas das primeiras tentativas para se compreender os efeitos da impedância na voz foram realizadas no campo da engenharia e da informática.

Conforme mencionado anteriormente, já na década de 1930 existia um modelo para calcular efeitos físicos em diversos sistemas utilizando analogias com sistemas elétricos. Ainda mais cedo, na década de 20, o engenheiro Homer Dudley, trabalhando para o *AT&T's Bell Laboratories*, cria o *Vocoder*, o primeiro sintetizador/analisador de fala, com a intenção de aumentar a eficiência da comunicação através do telefone. Como explica Mills, "Enquanto músicos eletrônicos, por sua vez, recriaram e remixaram os sons do antigo Vocoder, os engenheiros da AT&T continuaram a desenvolver novos modelos, na esperança de transmitir sons de fala comprimidos pelo telefone que soassem naturais" (Mills, 2012, p. 111, tradução nossa).[4]

O engenheiro James Flanagan publicou em 1958 um artigo que discute extensivamente a importância da impedância na produção da voz humana. A pesquisa focava principalmente na relação entre as impedâncias da traqueia, glote e trato vocal, e suas potenciais aplicações na síntese eletrônica da fala (Flanagan, 1958). Flanagan também foi pioneiro na simulação do processo de produção da voz em computadores e, em 1968, publicou um artigo demonstrando como a impedância do trato vocal pode influenciar retroativamente a vibração das pregas vocais:

[2] Sendo Z a impedância de uma área compacta, e ω a frequência angular, ou taxa na qual o ângulo de uma onda muda ao longo do tempo.
[3] "Here, the pressure is required because the mass of the air being accelerated has mass. That's why Z is proportional to ω: vibration at higher frequency requires greater acceleration and therefore greater acoustic pressure".
[4] "While electronic musicians have in turn remade and remixed the sounds of the early vocoder, AT&T engineers continued to develop new models, hoping to transmit natural-sounding compressed speech over the telephone" (Mills, 2012, p. 111).

> É fácil demonstrar que esse efeito pode não ser negligível. Se alguém toma um tubo de cartolina e estende seu trato vocal ao colocá-lo na boca, o primeiro modo normal do trato[5] é abaixado para a região de fala da voz. Se alguém produz um glissando, logo se chega nesse primeiro modo abaixado, onde a impedância do ponto de condução se torna muito elevada e "paralisa" as cordas vocais. Então, não se consegue produzir som naquela frequência. Essa é uma forma simples de se demonstrar a "carga acústica" das cordas vocais (Flanagan, 1968, p. 16, tradução nossa)[6].

Este estudo representa uma das primeiras tentativas de quantificar os efeitos fundamentais, principalmente a ação da impedância, que serão posteriormente usados na construção do modelo fonte-filtro não linear da produção vocal humana, que será discutido mais à frente.

Seguindo com a análise cronológica da evolução do conceito de inertância conforme apresentado na literatura científica sobre a voz, na década de 1980, Rothemberg (1981a) descreve como a inertância do trato vocal altera a curva do gráfico do fluxo de ar ao passar pela glote, sugerindo que esta pode ser uma fonte potencial da geração de frequências agudas. Esse efeito será revisitado mais adiante na explicação da produção do timbre *chiaroscuro*[7] no canto lírico. No mesmo ano, Rothemberg (1981b) publicou outro artigo que resume as interações fonte-filtro e as discute dentro do fenômeno do canto. É a partir deste período que o termo "inertância" começa a ser mais utilizado para se referir a essa propriedade específica da impedância do trato vocal.

Titze (1988) enfatizou a capacidade da inertância do trato vocal em reduzir a pressão necessária para iniciar a vibração das pregas vocais, referida como "pressão limite de oscilação". Em 1992, Titze direciona seu foco também para o estudo da voz cantada. Nesse ano, relevante para esta discussão, ele publica um artigo em coautoria com Johan Sundberg, que aborda a importância de a impedância do trato vocal estar em fase com a impedância das pregas vocais e sua relevância na amplificação do som produzido pela laringe (Titze e Sundberg, 1992).

Essas interações entre a vibração da prega vocal e o trato, chamadas de interações fonte-filtro, foram abordadas no livro *Principles of Voice Production* de Titze (1994, p. 98–113) e, de forma mais detalhada, em um artigo subsequente (Titze e Story, 1997). Atualmente, Titze continua a investigar essa propriedade física e tem realizado esforços significativos na divulgação científica destes conceitos, com destaque ao artigo *The Human Instrument*, publicado pela revista *The Scientific American* (Titze, 2008).

Nas últimas décadas, foram realizados diversos estudos sobre os efeitos dos exercícios de trato vocal semiocluído, tanto em sua função pedagógica para o canto quanto na terapia vocal. Um exemplo é a revisão abrangente da literatura sobre o assunto publicada no Brasil por Cielo *et al*. em 2013. A questão da inertância é central nessas discussões, pois a semioclusão resulta num aumento significativo desta. Um

[5] Aqui, o autor se refere ao primeiro formante do trato vocal (estendido pelo tubo de cartolina). Em outras palavras, o padrão mais grave de onda estacionária que o sistema pode apresentar.

[6] "It is easy to demonstrate that this effect may not be negligible. If one takes, e.g., a cardboard mailing tube and extends the vocal tract by putting it in the mouth, the first normal mode of the tract is lowered to the pitch range of the voice. If one then phonates a glissando, one soon hits this lowered first mode, where the driving point impedance of the tract becomes very high and "stalls" the vocal cords. One then cannot produce sound at that frequency. This is a simple way to demonstrate acoustic loading of the vocal cords (Flanagan, 1968, p. 16)".

[7] *Chiaroscuro* é um termo historicamente usado para se descrever o timbre do canto lírico, que apresenta um som profundo e, ao mesmo tempo, brilhante.

desses estudos (Costa *et al*., 2011), também publicado no Brasil, nos confronta com o problema da tradução da terminologia. Nesse estudo, assim como em outros textos em português, o termo *inertive reactance* aparece traduzido como "inertância do tipo reativa", o que é uma inversão de adjetivo e substantivo. Ainda que seja possível encontrar o termo *reactive inertance* em poucos documentos informais escritos em inglês, a inertância é parte do sistema da reatância, como explicado anteriormente. Por isso, o termo que será encontrado na grande maioria dos trabalhos científicos é *inertive reactance*, sendo mais apropriada a tradução "reatância inertiva". Nas discussões sobre a técnica e o ensino do canto, o termo "inertância" é geralmente específico e claro, evitando problemas conceituais e de tradução.

Por outro lado, como será demonstrado a seguir, ao investigar livros voltados para o ensino do canto, em particular os livros-texto da pedagogia vocal, percebe-se que o conceito de inertância tem encontrado certa resistência para ser incorporado aos modelos utilizados pelos autores. No entanto, devido à importância do tema, a atualização desse material é essencial, pois os livros-texto frequentemente são o primeiro contato dos alunos com a literatura sobre o canto, seja por curiosidade ou pelo uso em disciplinas em escolas e universidades.

Para realizar esta análise cronológica desse material didático, podemos utilizar os modelos históricos de ressonância vocal apresentados por Bozeman em seu livro sobre acústica vocal: as teorias dos ressonadores acoplados de Helmholtz[8], o modelo Fonte-Filtro[9] Linear e sua versão não-linear atualizada (Bozeman, 2013). Apenas este último modelo considera a inertância, que contribui para a não-linearidade influenciando retroativamente a vibração da fonte.

Um dos primeiros livros com o objetivo específico de articular a ciência da voz com o ensino do canto, *The Science of Vocal Pedagogy*, de Ralph Appelman, utiliza ainda o modelo dos ressoadores acoplados de Helmholtz para explicar a ressonância do trato vocal, mesmo citando o trabalho de Fant ao explicar a natureza da vibração da laringe (Appelman, 1967). Isso é indício de que o modelo recentemente proposto por Fant ainda não havia sido adotado pela discussão pedagógica do canto.

Os autores do final do século passado apresentam diferentes abordagens em relação a esses modelos. Richard Miller, um dos pedagogos mais influentes do período (Kiesgen, 2007), vai além da ideia dos ressoadores acoplados, propondo que o trato vocal funcione como uma unidade integrada e promovendo a teoria da origem do formante do cantor ser decorrente de ajustes na configuração da faringe (Miller, 1986, p. 48–56), teoria essa já amplamente consolidada na literatura científica. James McKinney

[8] Uma das primeiras teorias utilizadas para explicar a ressonância vocal que propunha que o trato vocal funcionaria como dois ressoadores de Helmholtz acoplados. Esses ressoadores, nomeados em homenagem ao físico Hermann von Helmholtz, consistem em uma câmara com um pescoço que ressoa em uma frequência única e específica quando excitado por ondas sonoras.

[9] A noção de que a laringe atua como uma fonte sonora e o trato vocal funciona como um filtro é um conceito histórico. Stark (1999, p. 36-41) destaca que Manuel Garcia, no século XIX, já diferenciava os efeitos da laringe e do trato vocal em sua tentativa de explicar os diversos timbres vocais. O modelo específico mencionado por Bozeman foi proposto por Gunnar Fant em 1960, o qual considera a ressonância das cavidades faríngeas e a ação do trato vocal inteiro como um ressoador (Fant, 1960, p. 15–21). Portanto, apesar de encontrarmos um paradigma fonte-filtro nos estudos que tratam da teoria dos ressoadores acoplados, a transformação do modelo provém desse novo modelo proposto por Fant.

(1994), outro autor de significativa influência, apresenta uma alternância entre a teoria dos ressoadores acoplados e elementos da teoria fonte-filtro não linear.

Mesmo Bunch, em sua obra inicialmente publicada em 1995 com o objetivo declarado de combinar tradição e ciência, emprega ainda o modelo dos ressoadores acoplados para esclarecer determinados aspectos da ressonância vocal. No entanto, ela também apresenta elementos relacionados à teoria linear do modelo fonte-filtro, como a função da faringe na produção do formante do cantor e o papel do trato vocal como um ressoador de quarto de onda (Bunch, 2009, p. 126–135).

Barbara Doscher é uma exceção entre esses autores ao citar a questão da não-linearidade, mesmo que de forma bastante abreviada: "Apesar de mais pesquisas serem certamente indicadas, é abundantemente claro que a fonte do som (as pregas vocais) e a ressonância do trato supraglótico têm um forte efeito uma sobre a outra" (Doscher, 1994, p. 127, tradução nossa).[10]

É apenas no século XXI que a questão da não linearidade dos fenômenos vocais e, consequentemente, a contribuição da inertância para esse sistema, começou a ser considerada nos livros-texto da pedagogia do canto. McCoy é um dos primeiros autores a atualizar seu modelo e introduzir efeitos de não-linearidade, embora de forma ainda limitada. Em seu livro *Your Voice: An Inside View* de 2019, McCoy ensina o conceito de ondas estacionárias[11] por meio das ondas de compressão e rarefação que retornam para a fonte, mencionando a necessidade dessas ondas estarem em sincronia com a vibração das pregas vocais. O autor se concentra em explicar o fenômeno das ondas estacionárias dentro do trato vocal, sem aprofundar-se sobre como o retorno de energia pode influenciar diretamente a vibração das pregas vocais. A inertância do trato vocal e sua possível contribuição para a vibração da fonte são mencionadas brevemente no capítulo sobre fonação, destacando novas informações advindas das pesquisas atuais na ciência da voz, porém sem um exame detalhado do assunto (McCoy, 2019).

Somente em um livro-texto relativamente recente encontramos uma explicação concisa e a integração da propriedade da inertância ao modelo didático utilizado para explicar o funcionamento da voz cantada. Em *A Systematic Approach to Voice*, Kari Ragan oferece uma explicação do efeito principal da inertância do trato vocal como facilitador da vibração das pregas vocais, associando-o principalmente aos exercícios de trato vocal semiocluído (Ragan, 2020).

A inertância do trato vocal é brevemente abordada também em livros de divulgação científica voltados para a pedagogia da voz. Bozeman menciona essa propriedade ao explicar a teoria fonte-filtro não linear, discutindo seu aumento em um ressoador convergente, sua importância em exercícios de trato vocal semiocluído, e sua relevância na produção do formante do cantor. Ele também destaca que esse fator é especialmente relevante para a técnica do canto lírico. Embora o assunto seja considerado importante, Bozeman não fornece uma explicação mais detalhada sobre como esses efeitos ocorrem (Bozeman, 2013).

Um dos poucos livros encontrados na presente pesquisa destinados a cantores e professores de canto que se aprofunda minimamente nesse assunto é o menos conhecido *Ciencia en el arte del canto*

[10] "Although further research is certainly indicated, it is abundantly clear that the sound source (the vocal folds) and the supraglottal resonance tract have a strong effect upon each other (Doscher, 1994, p. 127)".
[11] Padrões de vibração estacionários, formados pela interferência de duas ondas com a mesma frequência e amplitude, viajando em sentidos opostos.

de Soledad Sacheri (2012). Nessa obra, encontram-se três páginas dedicadas à explicação do conceito de inertância, com foco em sua função na produção do formante do cantor. A obra também apresenta uma breve explicação de como a pressão supraglótica, em fase com a abertura e fechamento das pregas vocais, pode retroalimentar esse processo (Sacheri, 2012, p. 33–35).

Com base nesta breve revisão da literatura, foi possível verificar que os efeitos da inertância na voz têm sido investigados por mais de meio século por pesquisadores das áreas de engenharia e acústica, bem como, mais recentemente, por cientistas especializados em voz. Porém, o modelo não-linear da produção vocal ainda está praticamente ausente nos livros-texto da pedagogia do canto. Consequentemente, quase não encontramos menções à inertância nestas obras.

3. Efeitos da inertância na técnica do canto lírico

O efeito mais amplamente divulgado da inertância no processo de fonação é a facilitação da abertura e fechamento da glote, quando esta atua em sincronia com a vibração das pregas vocais. Em um sistema onde se aumenta a inertância mediante um trato vocal convergente, como frequentemente observado no canto lírico, a inertância é majoritariamente responsável pela eficiência da técnica. Tal configuração permite gerar uma grande intensidade sonora sem aumentar excessivamente a resistência glótica ou a pressão subglótica. Historicamente, essa eficiência aerodinâmica foi atribuída ao efeito de Bernoulli; entretanto, autores como Titze (2001) argumentam que uma parcela significativa dessa ação resulta da inertância agindo em fase com a abertura e fechamento das pregas vocais.

Esse fenômeno ocorre da seguinte maneira: quando as pregas vocais começam a se separar, o ar inicia seu fluxo e encontra uma massa de ar no trato vocal que apresentará certa aversão ao início de seu movimento, o que gera um aumento de pressão que contribui para a abertura completa das pregas vocais. Em um processo inverso, quando as pregas vocais entram em contato no início da fase fechada do ciclo glótico, o ar que estava em movimento no trato vocal inicialmente resiste à diminuição de sua velocidade, o que gerará uma redução da pressão e irá atrair as pregas vocais, auxiliando no fechamento completo.

O canto lírico, reconhecido por seus desafios específicos devido à ausência constante de amplificação, está intimamente ligado à noção de eficiência vocal. Richard Miller (1986) reforça esta afirmação em diversos pontos de sua obra seminal *The Structure of Singing*, defendendo que esta é uma das teses centrais do seu trabalho. A eficiência vocal é um aspecto desafiador de se quantificar, mas uma medida objetiva associada a esse fator é a pressão limite de oscilação,[12] ou seja, a pressão subglótica necessária para iniciar a vibração das pregas vocais. Rothemberg (1986) correlaciona uma maior pressão subglótica ao aumento da fadiga dos músculos envolvidos na adução das pregas vocais, pois estes precisarão trabalhar mais para atingir a resistência glótica necessária para a fonação. Adicionalmente, Titze (1998) demonstra que um trato vocal com maior inertância reduz a pressão limite de oscilação e,

[12] *Oscillation threshold pressure* ou *phonation threshold pressure* na literatura em inglês.

consequentemente, a resistência glótica necessária para iniciar e manter a fonação. Portanto, pode-se associar um trato vocal com maior inertância a uma menor fadiga muscular, o que indica eficiência na produção vocal.

Outra maneira pela qual a inertância contribui para a eficiência na produção vocal no canto lírico está relacionada à quantidade de ar utilizada efetivamente na execução de uma frase musical. A técnica do canto lírico tem sido modernamente associada ao que se convencionou chamar de *flow phonation*, termo ainda sem tradução consolidada em português, mas frequentemente referido como fonação fluida (Thalén e Sundberg, 2001). Esse conceito possui algumas semelhanças com o termo histórico *sul fiato*, embora, como toda terminologia tão antiga, sua interpretação possa variar. Este modo de fonação é caracterizado por uma adução moderada das pregas vocais, o que, numa primeira análise, permitiria um maior escape de ar em comparação a um modo com maior adução.

No contexto do canto lírico, especialmente com vozes femininas nas regiões agudas, o acoplamento entre a frequência fundamental e o primeiro formante (fo/F1) parece ser particularmente propício à produção de uma fonação fluida (Bozeman, 2013). A habilidade demonstrada por essas cantoras de sustentar a emissão vocal por longos períodos durante uma única expiração costumava ser atribuída ao controle da liberação do ar pelo mecanismo de suporte respiratório.[13] No entanto, há evidências que sugerem que a inertância pode desempenhar um papel significativo nesse sistema. Schutte e D. G. Miller (1986) apresentam evidências de que o ajuste fo/F1, atingido muitas vezes por meio de um trato vocal convergente e de alta inertância, resulta em um aumento da pressão acima da glote que pode chegar a níveis superiores ao da pressão subglótica, reduzindo o fluxo de ar médio na glote. Isso poderia ser responsável pela sensação de facilidade de fonação e eficiência vocal relatada por muitas cantoras ao se iniciar esse ajuste. Dessa forma, o controle do fluxo de ar não se daria apenas por sistemas musculares do mecanismo de apoio, mas também por efeitos da pressão acima da glote, causados por uma inertância elevada.

Seguindo na investigação da fonação fluida, a inertância pode explicar a geração de harmônicos agudos fortes na fonte, mesmo quando se espera que uma menor adução resultaria em um decaimento moderado ou acentuado desses harmônicos[14]. As frequências geradas na fonte pela vibração da prega vocal estão diretamente relacionadas à forma como o fluxo de ar é interrompido no final da fase aberta de cada ciclo glótico, sendo mensuradas pela taxa de declinação do fluxo máximo.[15] Esta métrica avalia a rapidez com que o fluxo é interrompido após atingir seu ponto máximo. Quanto maior esse valor, maior será a intensidade dos harmônicos agudos gerados pela fonte. Então, a curva de decaimento dos harmônicos da fonte tende a apresentar menor inclinação na fonação fluida.

Uma alta inertância pode alterar esse parâmetro, resultando em uma deformação no gráfico do fluxo de ar durante a fase aberta. Sem nenhuma interação com o trato vocal, o gráfico do fluxo de ar

[13] Historicamente chamado de apoio a partir do século XIX, podendo ser definido como o ato de coordenação da musculatura da expiração e da inspiração para o controle da pressão subglótica

[14] Esse decaimento da intensidade dos harmônicos, também conhecido na ciência da voz como inclinação (*slope*) do espectro, é mais pronunciado na fonação fluida em comparação com modos de fonação em direção ao tenso.

[15] *Maximum flow declination rate* (MFDR).

através da glote seguiria diretamente o padrão de abertura e fechamento desta. Com a inertância, o aumento do fluxo é retardado, pois o ar no trato vocal não inicia imediatamente o seu movimento, fazendo com que seu ponto máximo ocorra mais tarde na fase. Após o fechamento da glote, esse fluxo cai imediatamente para zero. Com o ponto máximo atrasado, o decaimento ocorre de forma mais abrupta, aumentando a força das parciais mais agudas do som gerado (Rothemberg, 1981a).

Consequentemente, pode-se concluir que um trato vocal com elevada inertância permite que o cantor lírico utilize um modo de fonação com menor resistência glótica, mas ainda assim produzindo um som com harmônicos agudos pronunciados. Estes harmônicos são frequentemente associados a modos de fonação que apresentam fechamento glótico mais abrupto, o que normalmente resultaria em maior desgaste muscular. Titze (2006) ressalta ainda que uma maior taxa de declinação do fluxo máximo contribui para uma maior intensidade vocal devido ao aumento da pressão acumulada após a passagem do ar pela glote. Isso evidencia que a inertância do trato vocal está diretamente relacionada à melhoria da eficiência vocal no canto lírico.

Essas frequências mais agudas são ainda mais acentuadas na técnica do canto lírico por meio do fenômeno do formante do cantor,[16] também conhecido pelo termo histórico *squillo*. Esse fenômeno resulta da aproximação dos formantes 3, 4 e 5, encontrado principalmente em vozes líricas masculinas e em vozes femininas cantando nas regiões média e grave, e produz um pico de energia na vizinhança dos 3000 Hz (Sundberg, 1987). O formante do cantor é eficaz para o cantor ser ouvido junto a uma orquestra por duas razões principais. Primeiramente, essas frequências coincidem com a ressonância primária do canal auditivo, sendo percebidas com maior sensibilidade pelos nossos ouvidos (Bozeman, 2013). Em segundo lugar, os instrumentos da orquestra geralmente geram pouca energia nessa faixa de frequência, resultando em pouca competição com o cantor (Sundberg, 1977). Embora as origens do formante do cantor tenham sido amplamente debatidas, pesquisas recentes associam esse fenômeno à inércia de uma região específica do trato vocal para essas frequências, em condições tipicamente encontradas na técnica do canto lírico como demonstrado a seguir.

Para estudar como a inertância de um ressoador reage a diferentes frequências, os cientistas utilizam inertagramas, que representam graficamente essa relação. Ao analisar o inertagrama de um tubo cilíndrico (Titze, 2001), não foi encontrada evidência de variações na inertância que expliquem o fenômeno do formante do cantor. No entanto, ao criar um vestíbulo no início desse tubo, imitando a cavidade da epilaringe conforme configurada no canto lírico, observou-se um pico significativo de inertância em uma região anterior ao terceiro formante do tubo em isolamento. O fortalecimento desse formante, assim como o do quarto formante, se daria pela proximidade da frequência natural da epilaringe. Também foi demonstrado que essa ressonância da epilaringe "atrai" esses formantes formando um cluster, o que explicaria o fenômeno do formante do cantor. Essa configuração também resulta em um ressoador inertante para a maioria das frequências até 3000 Hz, diferente do exemplo sem o vestíbulo que apresenta diversas faixas de frequência onde o trato vocal apresenta complacência.

[16] *Singer formant cluster* (SFC).

Segundo Sundberg (1974), para que a epilaringe funcione como um ressoador separado e eficiente, é necessário que a proporção entre a seção transversal e a entrada da faringe seja de 6:1. Os cantores líricos se aproximariam dessa condição ao baixar a laringe e contrair as regiões da epiglote e da faringe inferior. Story (2016) realizou uma análise aprofundada dessa afirmação, sugerindo que o estreitamento do tubo epilaríngeo é um mecanismo viável para a produção do formante do cantor. No entanto, ele destaca que tem havido dificuldades experimentais em se alcançar as proporções exatas estipuladas por Sundberg.

Este processo conduz a uma discussão relevante sobre a relação entre a inertância e os formantes do trato vocal. Antes da introdução dos fenômenos não lineares no modelo de produção da voz, acreditava-se que era essencial "acoplar" a frequência dos harmônicos com os formantes. No entanto, com a incorporação do estudo da inertância, demonstrou-se que ocorrem mudanças significativas nessa propriedade próximo aos formantes, com valores elevados quando o harmônico está imediatamente abaixo do valor do formante. Isso justifica a tendência dos cantores em experimentar "quebras" na voz quando esses pontos de mudança de acoplamento não são adequadamente trabalhados. Segundo a teoria atual, é ideal que o cantor mantenha os harmônicos mais graves antes dos formantes, pois uma maior inertância implica em maior eficiência vocal. Conforme Titze:

> Diferentemente de um instrumento de madeira ou metal, onde a corneta é longa e estável em sua geometria, o trato vocal humano é relativamente curto e constantemente mutável devido a articulação dos fonemas. Isso não permite um alinhamento ordeiro dos harmônicos da fonte com os formantes do trato vocal. Então, é melhor manter os harmônicos longe dos formantes. Além disso, a teoria fonte-filtro não linear prediz uma preferência em colocar os harmônicos do lado esquerdo de um formante (abaixo da frequência do formante) em oposição ao lado direito (acima da frequência do formante). Felizmente, existe mais de um formante, então vogais podem ser escolhidas de forma que um "pulo sobre o formante" pode ser feito por um harmônico de forma que este aterrize na subida[17] do formante adjacente (Titze, 2007, p. 199, tradução nossa).[18]

Embora essa afirmação não altere a questão prática da modificação vocálica, onde cantores líricos continuam a buscar a vogal mais adequada acusticamente para cada situação, ela representa uma atualização significativa na compreensão da relação entre harmônicos e formantes. Essa nova perspectiva explica, por exemplo, por que os cantores frequentemente experimentam uma sensação de grande poder vocal imediatamente antes de um ponto de mudança de registro acústico.[19]

4. Implicações pedagógicas

[17] Aqui o autor se refere às seções de aumento da inertância no inertagrama.
[18] "Unlike in a woodwind or brass instrument, where the horn is long and steady in its geometry, the vocal tract in humans is relatively short and constantly changing due to articulation of phonemes. This does not permit an orderly line-tip of source harmonics with vocal tract formants. Hence, it is better to keep the harmonics away from the formants. Furthermore, nonlinear source-filter theory predicts a preference in placing harmonics on the left side of a formant (below the formant frequency) as opposed to the right side (above the formant frequency). Fortunately, there is more than one formant, so vowels can be chosen such that a "leap over the formant" can be made by a harmonic so that it lands on the upslope of an adjacent formant (Titze, 2007, p. 199)".
[19] Mudanças na relação do primeiro formante com os primeiros harmônicos.

Considerando os possíveis efeitos da inertância na técnica do canto lírico, segue-se uma discussão para identificar como estes podem impactar o ensino e a prática do canto lírico. À medida que o entendimento da ciência por trás do canto lírico avança, não se espera que haja uma substituição ou grande mudança na forma de se ensinar ou praticar o canto, mas busca-se informar a pedagogia vocal e promover uma compreensão mais aprofundada da técnica, frequentemente explicando a razão do sucesso de práticas que vêm sendo aplicadas há vários séculos.

Um ponto de partida adequado é revisar algumas simplificações heurísticas encontradas na primeira seção deste texto:

- Quanto maior o comprimento do trato vocal (seção medial), maior a inertância;
- Quanto maior a largura do trato vocal (seção frontal), menor a inertância;
- Quanto mais alta a frequência, maior a inertância.

Com base na discussão sobre os efeitos da inertância no canto lírico, mais uma generalização pode ser atingida: quando a região da epilaringe atua como um ressoador isolado, o trato vocal torna-se inertante para a maioria das frequências até 3000 Hz, gerando um pico de inertância na região do espectro associada ao formante do cantor.

Uma vez que o trato vocal não é um tubo cilíndrico estável, é possível categorizar seus ajustes em duas diferentes configurações. Um ressoador pode ser convergente, mais aberto próximo da laringe e mais fechado próximo aos lábios, ou o seu oposto, um ressoador divergente, ou em forma de megafone. Bozeman (2013) afirma que o trato em configuração convergente tem maior inertância.

Considerando os possíveis benefícios que um trato vocal de elevada inertância traz para a eficiência vocal, poder-se-ia supor inicialmente que um trato vocal convergente seria sempre o ideal. No entanto, é necessário equilibrar diversos fatores em um ato de coordenação. Um trato vocal inteiramente convergente não é possível em todas as situações. Primeiro, será necessária uma maior abertura de boca para articular vogais abertas, ainda que posições extremas sejam evitadas na maior parte do tempo no canto lírico. Segundo uma abertura de boca será inevitável ao alcançar os extremos agudos da voz, já que é necessária para a manutenção da aproximação do primeiro formante aos harmônicos mais graves, estratégia fundamental para a amplificação e manutenção do timbre *chiaroscuro* associado ao canto lírico.

É possível manter uma elevada inertância em ambos os casos, mesmo que o formato convergente do trato seja sacrificado. Em relação às notas mais agudas, é importante lembrar que à medida que a frequência aumenta, a resposta inertante do trato vocal também aumentará, reduzindo uma possível perda de eficiência causada pela abertura. Mesmo no caso de vogais mais abertas, a inertância do trato pode permanecer elevada se a epilaringe funcionar como um ressoador separado, o que é fundamental para a produção do formante do cantor, que será discutido adiante.

Um problema similar aparece na discussão sobre os exercícios de trato vocal semiocluído, associados ao aumento da inertância do trato vocal, e como seus benefícios podem ser transferidos para o canto. Os benefícios desses exercícios estão amplamente relatados. Nix (2016) identifica seis destes: resistência ao fluxo acima da glote sem necessidade de adução excessiva das pregas vocais; sensações de vibração e energia na boca e/ou face; alívio de tensões na língua, lábios e mandíbula; possibilidade de

cantar com menos inibição e de forma mais extrovertida; elevação do palato; e posição mais frontal da língua em diversos desses exercícios.

Porém, muitos alunos relatam dificuldade em transferir as sensações dos exercícios para o momento em que a semioclusão é removida. Especificamente, exercícios como fonação com canudo utilizam uma configuração do trato vocal muito fechada, o que não se aplica à maioria das situações de canto lírico. O ideal seria utilizar exercícios que possam ser aplicados diretamente ao canto; caso contrário, uma mudança abrupta na configuração do trato vocal pode modificar a inertância, resultando na perda do benefício e causando instabilidade na produção do som.

Uma solução divulgada por Berton Coffin[20] envolve um exercício amplamente reconhecido na pedagogia americana denominado "standing wave", ou como exercício de mão espalmada. Este exercício, que Manternach (2020) muito posteriormente nomeou de MOVT (*manually occluded vocal tract*[21]), consiste em vocalizar enquanto se cobre a boca com as costas da mão. Este método permite ao aluno uma transição para o canto sem mudanças abruptas na configuração do trato vocal e ajuda a prevenir o excesso de fluxo de ar não vibratório, um objetivo fundamental no canto lírico. Além disso, este exercício reduz a emissão de partículas de saliva pelo aluno, uma característica crucial durante o período em que Manternach publicou seu artigo, no início da pandemia de COVID-19.

Um benefício evidente dos exercícios de trato vocal semiocluído (ETVSOs) é a demonstração do controle do fluxo de ar por meio de eventos supraglóticos, contrariando algumas abordagens pedagógicas que enfatizam excessivamente a necessidade de a laringe interromper o fluxo de ar proveniente dos pulmões[22], ou o uso excessivo da musculatura da inspiração na retenção do ar. A inertância introduz um novo fator nesse ato de equilíbrio, promovendo uma fonação mais eficiente e resultando em menor desgaste muscular. A estratégia de equilibrar o fluxo de ar contra um trato vocal inertante parece ser mais eficaz do que confrontar a pressão do ar contra a resistência da glote. Embora esse seja um aspecto importante na produção do som, pedagogicamente pode induzir ao uso exagerado da musculatura adutora das pregas vocais.

Conforme discutido anteriormente, o fenômeno conhecido como formante do cantor é essencial para que um cantor possa ser ouvido sem amplificação ao executar uma peça com uma orquestra. Considerando a inertância do ar na epilaringe como um fator crucial para sua geração (Sundberg, 1974), dois mecanismos podem ser enfatizados pela pedagogia do canto para produzir esse efeito, principalmente para vozes masculinas, onde ele é mais pronunciado. O primeiro é a adoção de uma posição relativamente mais baixa da laringe, recomendada pela pedagogia tradicional do canto lírico há séculos e evidenciada pela ciência como possível causa de abaixamento do quarto e do quinto formantes, fundamental para a produção do cluster do formante do cantor. O conceito de inertância contribui para essa discussão por embasar a necessidade de atingir essa posição sem provocar um aumento significativo na tensão da musculatura adutora da laringe, o que comprometeria os benefícios proporcionados pelo controle

[20] Importante professor e autor da pedagogia vocal. Esse exercício foi transmitido por tradição oral, mas é mencionado em vários artigos, como nas referências apresentadas (Manternach, 2020) (Nix, 2016).
[21] Trato vocal manualmente ocluído
[22] Essa é uma outra interpretação possível do termo *sulfiato,* defendida por alguns professores de canto lírico.

supraglótico do fluxo de ar. Orientações que associem o abaixamento da laringe a ações de relaxamento, tais como inspirar o aroma de uma rosa ou simular o início de um bocejo, podem alcançar esse objetivo sem causar aumento excessivo da tensão muscular.

O segundo fator para se atingir a configuração da epilaringe necessária para a geração do formante do cantor é o estreitamento da saída epilaríngea. Vampola *et al*. (2011) e Laukkanen *et al*. (2012) afirmam que esse estreitamento pode resultar do uso de alguns ETVSOs, mas devido à grande variedade desses exercícios, seria necessário um estudo mais direcionado para identificar exatamente quais seriam propícios para esse fim. Uma técnica pedagógica para se obter esse mesmo resultado é a chamada *voce di strega* ou voz faríngea. Alguns professores recomendam o uso de sons imitando a risada de uma bruxa para estimular a produção do formante do cantor. Janice Chapman apresenta algumas variações dessa estratégia:

> Para ensinar isso, eu primeiro trabalho no constritor da epilaringe utilizando uma risada de bruxa, uma chamada de pavão, ou o som de uma cacatua, na região aguda do cantor. Nas vozes masculinas, é mais fácil atingir esse "twang" imitando o som de um pato. Para ter certeza que o som sendo gerado é oral e não nasal, simplesmente feche as narinas. Para ter certeza que a língua do aluno não está engajando, eu os encorajo a gerar esse som com a língua completamente estendida, e depois permitir que a língua volte gradualmente a sua posição normal para a vogal. Uma vez que esse truque de fonação está na memória muscular, é fácil retornar para a produção normal da voz lírica, adicionando a posição baixa da laringe e da faringe expandida (usando a conexão torso/pescoço) para se chegar a um produto – um som rico operático que contém o formante do cantor (Chapman, 2006, pp. 90 – 91, tradução nossa)[23].

Como referido anteriormente, essa configuração da epilaringe não só é uma estratégia essencial para a geração do formante do cantor, como também resulta em um trato vocal inertante, porém com valores diferentes, para praticamente todas as frequências até 3000 Hz, conforme demonstrado pelo estudo dos inertagramas de diferentes tratos vocais (Titze, 2001).

Por fim, um entendimento aprimorado da relação entre a inertância e os formantes pode orientar estratégias mais eficazes para lidar com os fenômenos de passagem acústica. Ao identificarmos um pico de inertância imediatamente antes de um harmônico atingir um formante, entendemos por que é comum elevar o formante para evitar passagens em momentos que demandam maior volume de voz. Isso também esclarece por que, nas formas de canto de maior intensidade, essas passagens tendem a ser realizadas de maneira mais abrupta.

Para que um cantor mantenha a eficiência máxima de sua produção vocal em regiões de alta inertância, é necessário evitar a queda abrupta dessa característica observada logo após um formante. Tradicionalmente, cantores, especialmente de ópera, tendem a evitar essa transição elevando os formantes

[23] "To teach this, I work first on the epilarynx constrictor using a witch's cackle, a peacock call, or the sound of a cockatoo, in the singer's upper range. In male voices it is sometimes easier to attain this twang by using a quacking sound like a duck call. To make sure that oral twang is produced rather than nasal twang, simply squeeze the nostrils. To ensure that the student's tongue root is not engaging, I encourage them to make this sound with the tongue fully extended, then to gradually allow the tongue to regain its normal position for the vowel. Once this phonation trick is in the muscle memory, it is easy to return to normal classical voice production, adding the low-larynx position and the wide expanded pharynx (using torso/collar connection) to achieve an end product — a rich operatic quality containing the singer's formant (Chapman, 2006, pp. 90 – 91)".

e realizando uma mudança vocálica abrupta para o próximo ajuste. Essa estratégia, de forma consciente ou não, sacrifica a inteligibilidade do texto em prol da eficiência. Em contrapartida, em situações em que a demanda por volume é menor, os cantores podem preferir uma transição mais gradual, que sacrifica um pouco a eficiência em prol da estética.

5. Conclusão

A compreensão da inertância e de seus efeitos no fluxo de ar e na produção vocal é fundamental para a ciência da voz e a pedagogia do canto lírico. Ao explorar as analogias com a eletricidade e compreender os conceitos de impedância, complacência e reatância, é possível aprofundar o conhecimento sobre como o ar se comporta no trato vocal humano.

A análise apresentada revelou que, apesar de amplamente debatido na literatura científica, esse tema ainda é pouco abordado na literatura didática e praticamente ausente nos livros-texto. A discussão pedagógica sobre seus efeitos demonstrou que esse conhecimento permite a aplicação de técnicas mais eficazes tanto na prática vocal quanto no ensino do canto, resultando em uma melhor eficiência e controle da emissão vocal. Assim, o conceito de inertância demonstra potencial para fundamentar estratégias práticas que podem ser utilizadas para aprimorar o desempenho vocal e o ensino do canto lírico.

Referências

BOZEMAN, Kenneth. *Practical Vocal Acoustics: Pedagogic Applications for Teachers and Singers*. Hillsdale, NY: Pendragon Press, 2013.

BUNCH, Meribeth. *Dynamics of the Singing Voice*. 5. Ed. Austria: Springer-Verlag/Wien, 2009.

COSTA, Claudia Barsanelli, CHECHINATO, Luis Henrique, OLIVEIRA, Gisele e BEHLAU, Mara. Efeitos imediatos de um exercício de trato vocal semiocluído, *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*, São Paulo, v. 77, n. 4, p. 461-465, jul. 2011.

CHAPMAN, *Janice. Singing and Teaching Singing: A Holistic Approach to Classical Voice*. San Diego, CA: Plural Publishing, 2006.

HABASH, Riadh. *Modeling Fluid Systems*; University of Ottawa – School of Electrical Engineering and Computer Science, s.n., 2005. Disponível em: https://www.site.uottawa.ca/~rhabash/ESSModelFluid.pdf. Acesso em: 14 jan. 2025.

FANT, Gunnar. *Acoustic Theory of Speech Production*. The Hague: Mouton de Gruyter, 1960.

FLANAGAN, James Loton. Some properties of the glottal sound source. *Journal of Speech, Language and Hearing Research,* Rockville, Maryland, v. 1, n. 2, p. 99-116, jun. 1958.

FLANAGAN, James Loton. Source-System Interaction in The Vocal Tract. *In*: ANNALS OF THE NEW YORK ACADEMY OF SCIENCES, New York, v. 155, n. 1, p. 9-17, nov. 1968.

GAGET, Hélène. The evolution of engineers' formulation of the electrical-mechanical analogy from 1920 to 1960. *Revue d'histoire des sciences*, v. 72(2), p. 273-308, 2019.

KIESGEN, Paul. How Richard Miller changed the way we think about singing. *Journal of Singing*, Jacksonville, Florida, v. 63, n. 3, p. 261+, 2007.

KINSLER, Lawrence, FREY Austin, COPPENS Alan e SANDERS James. *Fundamentals of Acoustics*. 4. Ed; Hoboken, N.J.: John Wiley & Sons, 2000.

LAUKKANEN, Anne-Maria; HORÁČEK, Jaromír; KRUPA, Petr; ŠVEC, Jan G. The effect of phonation into a straw on the vocal tract adjustments and formant frequencies: a preliminary MRI study on a single subject completed with acoustic results. *Biomedical Signal Processing and Control*, v. 7, n. 1, p. 50-57, 2012.

CIELO, Carla Aparecida; LIMA, Joziane Padilha de Moraes; CHRISTMANN, Mara Keli, BRUM, Ricardo. Exercícios de trato vocal semiocluído: revisão de literatura. *Revista CEFAC*, s.l., v. 15, n. 6, p. 1679-1689, dez. 2013.

MANTERNACH, Brian. Straw in Water: A Low "Spit Factor" Alternative to Lip Trills and Raspberries. *Voiceprints*. New York, v. 17, n. 5, p. 71-75, mai. 2020.

MCCOY, Scott. *Your Voice An Inside View*, 3. ed. Gahanna, OH: Inside View Press, 2019.

MCKINNEY, James. *The Diagnosis and Correction of Vocal Faults*. Edição revisada e ampliada. Brentwood, TN: Genevox Music Group, 1994.

MILLER, Richard. *The Structure of Singing: System and Art in Vocal Technique*. New York: Schirmer Books, 1986.

MILLER, Richard. *On the Art of Singing*. New York: Oxford University Press, 1996

MILLS, Mara. Media and Prosthesis: The Vocoder, the Artificial Larynx, and the History of Signal Processing. *Qui Parle: Critical Humanities and Social Sciences*, Lincoln, NE, v. 21, n. 1, p. 107-149, 2012.

NIX, John. Closing Your Mouth to "Open" Your Sound. *Journal of Singing*, Jacksonville, Florida, v. 73, n. 1, p. 35-41, set. 2016.

RAGAN, Kari. *A Systematic Approach to Voice: The Art of Studio Application*. Reino Unido: Plural Publishing, 2020.

ROTHEMBERG, Martin. Acoustic Interaction Between the Glottal Source and the Vocal Tract. *In*: STEVENS, K e HIRANO, M. org. *Vocal Fold Physiology*, Tokyo: University of Tokyo Press, p. 305-328, 1981a.

ROTHEMBERG, Martin. The Voice Source in Singing. *In*: SUNDBERG, J. ed. *Research Aspects of Singing*: Publications issued by the Royal Swedish Academy of Music No. 33, Stockholm, p. 15-31, 1981b.

ROTHEMBERG, Martin. Source-Tract Acoustic Interaction in the Soprano Voice and Implications for Vocal Efficiency. *In*: BAER, T., SASAKI. C., HARRIS, K. S. *Vocal Fold Physiology: Laryngeal Function if Phonation and Respiration*. San Diego: College Hill Press, 1986. p. 254-263.

SACHERI, Soledad. *Ciencia en el arte del canto*. Buenos Aires: Akadia Editorial, 2012.

SANTOS, Kelly Vinente dos. *Fundamentos de eletricidade*. Manaus: Centro de Educação Tecnológica do Amazonas, 2011.

SATALOFF, Robert Thayer. *Vocal Health and Pedagogy: Science and Assessment*. 2. ed. Reino Unido: Plural Publishing, 2006.

SCHUTTE, Harm e MILLER, Donald. The Effect of FOIF1 Coincidence in Soprano High Notes on Pressure at the Glottis. *Journal of Phonetics*. Amsterdam, v. 14, n. 3-4, p. 385-392, out. 1986.

STARK, James. *Bel Canto: A History of Vocal Pedagogy*. Toronto: University of Toronto Press, 1999.

SUNDBERG, Johan. Articulatory interpretation of the "singing formant". *The Journal of the Acoustical Society of America*, Melville, NY, v. 55, n. 4, p. 838-844, abr. 1974.

SUNDBERG, Johan. The acoustics of the singing voice. *Scientific American Magazine*, New York, v. 236, n. 3, p. 82-92, mar. 1977.

SUNDBERG, Johan. *The Science of the Singing Voice*. Illinois: Northern Illinois University Press, 1989.

THALÉN Margareta e SUNDBERG, Johan. Describing different styles of singing: A comparison of a female singer's voice source in ''Classical'', ''Pop'', ''Jazz'' and ''Blues''. *Logopedics Phoniatrics Vocol*, v. 26, p. 82 – 93, 2001.

TITZE, Ingo. The physics of small-amplitude oscillation of the vocal folds. *The Journal of the Acoustical Society of America*, Melville, NY, v. 83, n. 4, p. 1536-1552, mai. 1988.

TITZE, Ingo e SUNDBERG Johan. Vocal intensity in speakers and singers. *The Journal of the Acoustical Society of America*, Melville, NY, v. 91, n. 5, p. 2936-2946, mai. 1992.

TITZE, Ingo. *Principles of Voice Production*. Hoboken, NJ: Prentice Hall, 1994.

TITZE, Ingo e STORY, Brad. Acoustic interactions of the voice source with the lower vocal tract. The Journal of the Acoustical Society of America, Melville, NY, v. 101, n. 4, p. 2234-2243, abr. 1997.

TITZE, Ingo. Acoustic Interpretation of Resonant Voice. *Journal of Singing*, Jacksonville, Florida, v. 15, n. 4, p. 519 – 528, dez. 2001.

TITZE, Ingo. Voice Training and Therapy with a Semi-Occluded Vocal Tract: Rationale and Scientific Underpinnings. *Journal of Speech, Language and Hearing Research,* Rockville, Maryland, v. 49, n. 2, p. 448-459, abr. 2006.

TITZE, Ingo. Resurrection from the Coffin. *Journal of Singing*, Jacksonville, Florida, v. 64, n. 2, p. 199-201, dez. 2007.

TITZE, Ingo. The Human Instrument. *Scientific American Magazine*, New York, v. 298, n. 1, p. 94-101, fev. 2008.

TITZE, Ingo. The Concept of Impedance. *Journal of Singing*, Jacksonville, Florida, v. 77, n. 3, p. 379 – 380, jan. 2021.

VAMPOLA, Tomáš; LAUKKANEN, Anne-Maria; HORÁČEK, Jaromír; ŠVEC, Jan G. Vocal tract changes caused by phonation into a tube: a case study using computer tomography and finite-element modeling. *Journal of the Acoustical Society of America*, v. 129, n. 1, p. 310-315, 2011.

WOLFE, Joe; HATSIDIMITRIS, George, *Acoustic compliance, inertance and impedance*; physclips. UNSW Sydney – School of Physics, s.n. 1991. Disponível em https://www.animations.physics.unsw.edu.au/jw/compliance-inertance-impedance.htm#pipes. Acesso em: 14 jan. 2025.

Marcelo Ferreira Gomes Melo e Silva é barítono, doutor em canto e ópera pela Indiana University (EUA). Em sua carreira, Marcelo Ferreira acumula diversos prêmios e atuou como solista com várias orquestras, cantando repertório sacro, de câmara e sinfônico. Como cantor operístico, interpretou diversos papéis no Brasil, Estados Unidos e Europa. Marcelo Ferreira foi criador e diretor acadêmico por quase uma década do Opera Studio do Recife e da Oficina de Canto do Recife. Nos anos de 2014 e 2015, ministrou cursos de história da ópera em São Paulo, Fortaleza e Recife dentro da programação da Caixa Cultural. Em 2018, apresentou uma série de palestras sobre Villa-Lobos e o nacionalismo musical brasileiro, patrocinadas pelo Banco do Nordeste e pela Secretaria de Cultura do Estado de Pernambuco. Foi coordenador do Estúdio de Ópera da Escola Municipal de Música de São Paulo. Atualmente é professor de canto lírico da Escola de Música da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). **E-mail**: marcelojack@hotmail.com

Disponibilidade de dados: Os dados estarão disponíveis mediante solicitação.

Conflito de Interesses: Nenhum conflito de interesses foi declarado.

Modalidade de avaliação: Duplo-cego por pares.

A *Opus* está licenciada sob uma licença CC-BY.