

ASPECTOS ACÚSTICOS, FISIOLÓGICOS E PERCEPTIVOS DA EXECUÇÃO E CONSTRUÇÃO DE INSTRUMENTOS DE SOPRO

Leonardo Fuks

Escola de Música da Universidade Federal do Rio de Janeiro

e-mail: cyclophonica@yahoo.com

Resumo: Este apresenta pesquisa interdisciplinar sobre geração sonora em instrumentos de sopro de palheta e voz, focalizando aspectos acústicos, fisiológicos e perceptivos.

Os estudos sobre instrumentos de palheta se concentram nas funções respiratórias e de sopro sob condições realísticas e possibilitam uma visão aprofundada nos parâmetros aerodinâmicos de entrada. Mediu-se a pressão de sopro em função do nível dinâmico e da frequência fundamental em profissionais do oboé, fagote, clarineta e saxofone alto, que se mostrou bastante sistemática, embora diferindo entre os instrumentos. O fluxo de ar em sons contínuos foi medido por espirometria indireta, utilizando-se palhetas com características extremas, uma consideravelmente rígida e outra flexível. As gravações foram realizadas em dois ambientes distintos, uma sala comum e uma câmara reverberante. Sons com níveis de vibrato intenso foram analisados no oboé, saxofone e fagote. Revelaram-se variações amplas na pressão de sopro, sugerindo que o principal fator de sua produção seja uma modulação rítmica na contração da musculatura respiratória, enquanto que as variações na frequência foram reduzidas, comparativamente ao canto e instrumentos de cordas.

A percepção de profissionais para a pressão intra-pulmonar foi analisada em um experimento psicofísico que mostrou relação aproximadamente linear entre pressões produzidas e percebidas. Movimentos respiratórios durante a execução foram medidos por técnica não-invasiva, pletismografia respiratória indutiva (RIP), que proporcionou dados confiáveis para a análise do desempenho. Os resultados revelaram em todos os músicos uma participação significativa da caixa torácica, além da parede abdominal em diversos sujeitos. O impacto das mudanças contínuas dos gases oxigênio e carbônico no ar exalado durante a execução, sobre a frequência fundamental, foi predita pela teoria e comparada a dados experimentais. O efeito, menor que o devido à variação de temperatura, representa um fator de relevância na afinação dos instrumentos.

A partir destes estudos e combinando conhecimentos da arte de construção de instrumentos e da confecção de modelos em materiais de alta tecnologia, como compósitos e moldagem de alta resolução, assistidos por modelagem em computador, apresentaremos protótipos de instrumentos realizados e atualmente sob análise de performance.

1. INTRODUÇÃO

Na performance de instrumentos de sopro e no canto, o artista compartilha o ar metabólico vital com o instrumento de produção sonora. Numa perspectiva mais geral, as pausas respiratórias e mesmo os sons da respiração contribuem significativamente na interpretação, mesmo em instrumentos outros que os de sopro. Por exemplo, ao tocar instrumentos de arco, os executantes freqüentemente empregam os sons e os gestos da respiração para aumentar a expressividade e para melhor demarcar as frases musicais. Portanto, a respiração e suas respectivas pausas servem como elementos estruturais da performance musical, não raro possuindo um conteúdo estético.

Nesta palestra abordaremos o tema numa perspectiva interdisciplinar, incluindo aspectos musicais, acústicos, perceptivos e fisiológicos. Buscamos nos concentrar em instrumentos de sopro com palheta, que abrangem o oboé, a clarineta, o saxofone e o fagote. Esta abordagem interdisciplinar é justificada por assumirmos não ser possível compreender completamente o processo de se tocar um instrumento de sopro se algum daqueles aspectos acima for excluído em sua análise.

2. PRESSÕES DE SOPRO EM FAGOTE, CLARINETA, OBOÉ E SAXOFONE

A pressão de sopro é um parâmetro central em instrumentos de palheta, conforme estudos prévios (Bouhuys, 1964, 1968; Navrátil M & Rejsek K, 1968; Pawlowski & Zoltowski, 1985, 1987). Entretanto, a descrição detalhada das relações entre altura, pressão de sopro e nível dinâmico é algo raro. Alguns estudos anteriores documentam valores obtidos a partir de um grande número de executantes, incluindo profissionais e amadores, presumivelmente obscurecendo as dependências

entre aqueles parâmetros. O objetivo de determinados trabalhos era o de proporcionar valores típicos e máximos para aplicações clínicas. Nossa hipótese básica era de que há uma relação sistemática entre pressão de sopro e as propriedades acústicas do instrumento e dos sons produzidos.

Neste artigo (Fuks and Sundberg, 1996) foram registradas as pressões de sopro na boca de dois músicos profissionais de cada um dos quatro instrumentos de palheta: clarineta em si bemol, saxofone alto, oboé e fagote. Os sujeitos cumpriram três tarefas: (1) uma série de sons isolados a quatro níveis dinâmicos, (2) a mesma série com sons em crescendo-diminuendo, e (3) arpejos musicais ascendentes e descendentes tocados *legato* em quatro níveis dinâmicos (pp, mp, mf, ff).

Os resultados mostraram que, dentre cada instrumento, as pressões de sopro usadas pelos sujeitos guardavam relações semelhantes de acordo com a altura e nível dinâmico. As pressões variaram grandemente, segundo instrumento, nível dinâmico e altura da nota, num intervalo entre 15 e 120 cm H₂O. Entre instrumentos distintos, diferenças evidentes foram encontradas com respeito à dependência com a altura dos sons. Cada tipo de instrumento apresentou curvas características, diferindo apenas discretamente entre os músicos.

A investigação utilizou sons *crescendo-diminuendo* e arpejos a níveis dinâmicos constantes. Poderíamos assumir que padrões semelhantes seriam encontrados para outras notas nos intervalos entre aquelas estudadas e que as pressões de sopro para notas intermediárias podem ser estimadas por interpolação. Entretanto, o dedilhado e a resposta do instrumento não necessariamente variam continuamente entre notas adjacentes, o que pode demandar valores diferentes de pressão.

Foi sugerido que as funções proprioceptivas do aparelho respiratório, responsáveis pela percepção de estímulos por receptores nervosos abdominais, torácicos e dos pulmões, são altamente relevantes para a performance musical. Este foi o principal tópico abordado no artigo descrito no Estudo V, abaixo.

Em instrumentos de palheta dupla, a pressão de sopro aumenta com a frequência fundamental e com o nível dinâmico. Na clarineta, a pressão tende a diminuir discretamente com a frequência fundamental, dentro de cada um dos dois registros, geralmente aumentando com o nível dinâmico. Já no saxofone, a pressão varia de forma semelhante às palhetas duplas no registro grave, e de forma mais próxima à da clarineta na região aguda.

3. PARÂMETROS AERODINÂMICOS DE ENTRADA E PROPRIEDADES SONORAS EM INSTRUMENTOS DE PALHETA

Foram realizadas medições do fluxo de ar, possibilitando a estimativa das demandas típicas de suprimento de ar representadas pelos diferentes instrumentos - oboé, saxofone alto, fagote e clarineta.

Os parâmetros de entrada aerodinâmicos em instrumentos de palheta foram medidos enquanto profissionais tocavam diferentes notas a três níveis dinâmicos diferentes. Duas palhetas foram usadas, uma julgada como muito resistente ao sopro e outra de muito fácil produção sonora. As palhetas contrastantes mostraram flagrantes diferenças em termos de vazão de ar, pressão de sopro e resistência aerodinâmica.

As tarefas consistiram em longos sons sustentados com e sem vibrato, enquanto que os sinais de áudio e de pressão de sopro eram registrados. As variações de volume pulmonar foram indiretamente medidas por um procedimento espirométrico, que também mostrou o consumo de ar médio, isto é, o fluxo médio de ar. Os sons foram produzidos em um laboratório, bem como numa câmara reverberante calibrada, possibilitando a estimativa da potência sonora irradiada. Valores médios para a resistência ao fluxo, potência aerodinâmica e eficiência mecânica foram computados. O fluxo de ar e potência mecânica de entrada variaram consideravelmente entre os instrumentos e entre os dois tipos extremos de palhetas, mas geralmente aumentaram com o nível sonoro. O fluxo de ar sistematicamente aumentou com a pressão de sopro e nível dinâmico em todos os instrumentos. As palhetas mais resistentes ao sopro exigiram maior fluxo de ar, maior pressão de sopro, e tenderam a produzir sons com maior nível de pressão sonora.

De acordo com estudos prévios, a relação pressão-fluxo de ar, em condições de embocadura com tensão constante, deveria corresponder a uma curva decrescente; desta forma, um aumento de pressão produziria uma diminuição de fluxo de ar e a uma queda no nível de intensidade sonora. Nossos resultados mostraram que um aumento na pressão de sopro sempre estava associado a aumento no fluxo de ar e no nível de intensidade sonora. Esta aparente discrepância sugere que o instrumentista necessita, na prática, reduzir a tensão na embocadura para fazer um *crescendo*.

O vibrato pode ser gerado através de diversos mecanismos. A investigação focalizou um vibrato intenso, claramente notado. Para tal efeito no oboé, fagote e saxofone, foram observadas amplas variações na pressão de sopro, em média ± 10 cmH₂O, atingindo até ± 20 cmH₂O em alguns

casos. Estas grandes oscilações não podem ser produzidas apenas pelo mecanismo laríngeo, conforme defendido por estudos anteriores (Weait, 1979; Gärtner, 1973), mas requerem a participação de forças expiratórias.

4. PREDIÇÃO E MEDIÇÃO DOS EFEITOS DO AR EXALADO SOBRE A AFINAÇÃO

É sabido que um instrumento de sopro sofre aumento em frequência de afinação à medida em que é aquecido da temperatura ambiente até a temperatura de equilíbrio com o ar pulmonar, geralmente atingindo valores entre 25.6 e 26.8 °C . Isto se dá devido ao fato de que a velocidade do som aumenta com a raiz quadrada da temperatura, e que a frequência sonora é proporcional à velocidade do som na coluna de ar do instrumento.

Este estudo (Fuks, 1996, 1997) abordou o efeito da variação contínua das percentagens de gás carbônico e oxigênio no ar expirado sobre a afinação dos instrumentos de palheta, excluindo-se o efeito de temperatura. Foram usados dispositivos eletrônicos (capnômetro e oxímetro) para a medição precisa da percentagem daqueles gases durante a execução de notas longas e trechos musicais. Observamos variações na concentração de gás carbônico, que normalmente se inicia na faixa de 2.5-3% , e atingiu mais do que 8.5% em casos extremos de frases longas. A percentagem de gás oxigênio, geralmente iniciada em 21%, caiu para menos de 11% em certos casos. O efeito combinado destas duas variações foi previsto pela teoria física e comparado com as variações ocorridas no registro sonoro, em condições controladas em laboratório. Foi assumido que a umidade do ar não sofresse variações durante o experimento.

As discrepâncias ocorridas entre a predição teórica e os resultados experimentais puderam ser explicadas por variações na umidade do ar entre o início da expiração e o prolongamento da execução instrumental. Foi demonstrado que as variações nas proporções gasosas no ar podem contribuir para uma queda de até 13 centésimos de semi-tom (ou 13 cents) na afinação, a cada ciclo ventilatório. Isto significa que se um oboísta atacar um lá fundamental com frequência de 440 Hz, tendo recentemente tomado ar fresco, após alguns segundos de som contínuo a afinação tenderá a cair para até 436.5 Hz. Isto terá ocorrido apenas devido às modificações na composição do ar pulmonar, com as outras condições permanecendo constantes. Portanto, trata-se de um fator relevante para a performance musical, embora se possa supor que o músico treinado venha a compensar este efeito por meio do controle de pressão de ar e de embocadura.

5. MEDIÇÃO DOS MOVIMENTOS RESPIRATÓRIOS EM PROFISSIONAIS DE INSTRUMENTOS DE PALHETA USANDO RIP

A técnica de Pletismografia Indutiva Respiratória, RIP-Respiratory Inductive Plethysmography- é uma técnica desenvolvida para a monitoração respiratória clínica, tendo sido introduzida na década de 70 e ainda em uso devido a seu relativo baixo custo, confiabilidade, robustez e por representar uma técnica não-invasiva para o paciente, geralmente situado no leito hospitalar. A técnica é baseada na auto-indutância de duas bobinas, conectadas a um oscilador de alta frequência, e que envolvem o abdomen e o tórax na forma de duas cintas elásticas, não representando desconforto para o sujeito. As mudanças nas áreas de seção transversal do tronco devidas à ventilação pulmonar causam variações nas propriedades eletromagnéticas do sistema, que são detectadas pelo circuito do aparelho e traduzidas para variações volumétricas, segundo um processo de calibração adequado. Assim, as variações individuais em volume do tórax e do abdomen podem ser estimadas com certo grau de precisão e informar sobre as variações volumétricas nestes dois "compartimentos". De fato, este método já foi utilizado com sucesso para a análise de movimentos respiratórios em cantores líricos (Thomasson and Sundberg, 1997), podendo auxiliar na resposta a certas questões objetivas relativas à técnica de execução em instrumentos de sopro e canto.

O método foi aplicado em oito músicos profissionais dos quatro instrumentos de palheta, que cumpriram diversas manobras respiratórias para a calibração e tarefas musicais como arpejos, escalas e execução de melodias padronizadas (Fuks and Sundberg, 1998a; 1998b). Ele forneceu precisão aceitável para a medição dos volumes pulmonares, movimentos relativos entre tórax e abdomen, assim como revelou detalhes temporais e cinemáticos ocorridos nas breves pausas respiratórias.

Os grupos respiratórios de todos os sujeitos foram iniciados a 55% - 87% e terminados entre 14% - 52% da capacidade vital pulmonar dos músicos, dependendo do instrumento, peça tocada e duração da frase musical. Os executantes geralmente mostraram contribuições simultâneas e, em

diversos casos, igualmente importantes das partes abdominal e torácica durante as tarefas. Estes achados freqüentemente contrastavam com as idéias dos músicos sobre como utilizavam seu próprio aparelho respiratório. A respeito das pausas respiratórias, elas corresponderam a tempos de inalação extremos de aproximadamente 300 milissegundos, bem sincronizadas com os sinais de áudio.

6. PERCEPÇÃO DA PRESSÃO DE SOPRO

Este estudo (Fuks, 1998c) utilizou um método de produção psicofísico para a avaliação direta da percepção da pressão gerada internamente pelos instrumentistas de sopro. Seu principal objetivo era o de medir como os músicos julgavam a pressão pulmonar, independentemente das condições normais de execução, isto é, sem esforço de embocadura, vibração da palheta, fluxo de ar ou retorno auditivo. Com esta informação, poderíamos saber se as pressões sistemáticas observadas no estudo I (Fuks and Sundberg, 1996) eram absolutamente dependentes de feedback sensorial proporcionado pelo instrumento ou se poderiam ser devidas a capacidades proprioceptivas respiratórias.

Aos músicos foi solicitada a produção de pressões pulmonares correspondentes a números que lhes eram ditados de forma aleatória. Estes números poderiam corresponder à percepção de 1, 2 ou 4 vezes a pressão de referência, definida por um determinado volume pulmonar inicial. As pressões na boca eram continuamente medidas com um manômetro eletrônico e comparadas com os números utilizados como comandos.

O método forneceu dados consistentes e interessantes sobre esta modalidade perceptiva raramente estudada. A análise de regressão utilizou diversos modelos matemáticos de ajuste de dados- linear, logarítmico, exponencial e de potência- e revelou que o modelo linear apresentou as melhores correlações entre as pressões medidas e as percebidas. Linearidade não é geralmente encontrada em outras modalidades de percepção, como as de dinâmica e a de altura musicais.

7. CONSTRUINDO, RECONSTRUINDO E DESCONSTRUINDO INSTRUMENTOS DE SOPRO

Através dos estudos combinados da performance, acústica musical e da arte tradicional de construção de instrumentos, temos realizado protótipos de instrumentos convencionais e mesmo novos instrumentos. Utilizando técnicas como a cópia em silicone (Silicloning) e moldagem em materiais compósito de fibra de carbono, aramida e resinas, temos obtido uma coleção de cabeças de flauta moderna, oboés barrocos, flauto traverso, bocais de fagotes e boquilhas de clarineta, para utilização por profissionais e estudantes. Estes produtos tem sido avaliados e os resultados preliminares serão mostrados e discutidos.

Os novos produtos incluem a série de "Transmorphones", que são dispositivos baseados na obra do acústico Arthur Benade e permitem combinar os princípios acústicos de diversos instrumentos, originando híbridos de sopro.

Dentre eles: cabeça de flauta na clarineta; boquilha para flauta transversa; bocal de trompete no oboé; bocal de para saxofone; boquilha de palheta dupla para clarine