

ESTUDO EXPERIMENTAL DA SONORIDADE “CHALUMEAU” DA CLARINETA ATRAVÉS DE PROJETO FATORIAL

Luís Carlos Oliveira¹, Ricardo Goldemberg², Jônatas Manzolli³

^{1,2,3}Instituto de Artes – Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) e Núcleo Interdisciplinar de Comunicação Sonora (NICS-UNICAMP)
Caixa Postal 15.064 – 91.501-970 – Porto Alegre – RS – Brazil
{luis,ricardo,jonatas}@nics.unicamp.br

Abstract. *The sonority **chalumeau** of a clarinet is investigated empirically. A Factorial Design of Experiments was used as an important tool of analysis. In this paper the attention is on the effect of the several factors on the intensity and frequency of the sound produced. As a secondary result we have investigated if there are interactions between the factors.*

Resumo. *A sonoridade **chalumeau** da clarineta é investigada de modo empírico através de um método de otimização de experimentos conhecido como Projeto Fatorial de Experimentos. Neste trabalho a atenção é voltada para a determinação do efeito de diversas variáveis sobre a intensidade e frequência do som emitido nesta região. Como resultado paralelo foi investigado se existe interação entre as variáveis estudadas.*

1. Introdução

O processo sistemático de investigação científica a respeito dos instrumentos de sopro teve seu início no final do século XIX. Desde então o timbre desses instrumentos é uma preocupação constante. Dentre os autores representativos, destacam-se Helmholtz (1887), e mais recentemente, Backus (1974, 1978, 1985) e Benade (1976, 1985, 1988). Ainda que de maneira limitada, as contribuições desses e outros investigadores permitem afirmar que, em nossos dias, existe um corpo de conhecimento teórico e experimental que possibilita descrever e simular razoavelmente o comportamento dos instrumentos musicais de sopro, Fletcher e Rossing (1998), Nederveen (1998) e Hall (1990).

Entretanto, devido à complexidade do problema em estudo, várias simplificações são impostas. Deste modo, os resultados obtidos divergem consideravelmente das condições reais, tanto do ponto de vista teórico quanto do experimental. Com relação aos trabalhos empíricos, notamos um elevado grau de preocupação com o sistema oscilador composto pelo conjunto formado pela boquilha e palheta.

Nossa proposta consiste primeiro, em eliminar a variável subjetiva do músico, segundo, trabalhar simultaneamente com um conjunto maior de variáveis e finalmente, estabelecer se há interação entre estas variáveis, Oliveira et alii (2005). Para tal objetivo

utilizaremos uma montagem experimental instalada no estúdio do NICS (Núcleo Interdisciplinar de Comunicação Sonora). Em seguida, vamos analisar o efeito das variáveis na sonoridade (energia sonora e frequência) *chalmieu* (região grave) da clarineta.

2. Aparato e Procedimento Experimentais

O aparato consiste basicamente de cinco unidades: 1) compressor; 2) tanque “pulmão” que simula o reservatório de ar no corpo humano; 3) unidade de contato com a palheta, que daqui por diante denominaremos por “mordedura”; 4) unidade formada pela clarineta e 5) unidade de captação de dados. Com exceção da unidade 5, as demais podem ser visualizadas nas figuras 1 e 2.

Instrumentos de medida como um rotâmetro (medidor da vazão volumétrica de ar que passa pela clarineta) e dois manômetros (para medir a pressão na entrada do tanque e no interior do tanque) complementam o sistema.



Figura 1. Visão Geral do Aparato Experimental.



Figura 2. Detalhe da Unidade de Contato com a Palheta: “Mordedura”.

Primeiro enche-se o compressor. As chaves da clarineta são fechadas com pequenas borrachas que podem alterar a nota desejada. No tanque pulmão o contato com a palheta é mantido fechado, impossibilitando a passagem de ar através da palheta. Abre-se lentamente a válvula de saída do compressor de modo que os manômetros indiquem o aumento gradativo da pressão. Quando os manômetros indicarem a pressão de fundo de escala (9808 Pa) abre-se muito lentamente o contato com a palheta de

modo que uma pequena quantidade de ar é injetada no interior da clarineta. As pressões indicadas pelos manômetros começam a diminuir como consequência.

Deste momento em diante a clarineta está em estado de emissão sonora. Uma vez emitido o som a gravação é acionada no momento que se percebe que sua intensidade é máxima e constante. A gravação é efetuada por volta de três minutos. Desta gravação apenas 15 segundos são selecionados para a análise.

Depois de uma bateria de testes, estabelecemos que as variáveis que poderiam estabelecer certa influência na sonoridade da clarineta foram: i) volume do tanque pulmão; ii) dureza da palheta; iii) posição de contato da mordedura na palheta; iv) ângulo de abertura da boquilha; v) Tipo de mordedura (área de contato com a palheta) vi) quantidade de material absorvente sonoro (estopa) no tanque pulmão. Para o estudo destas variáveis utilizamos um método estatístico conhecido por *Projeto Fatorial de Experimentos*. Em particular, foi aplicado um *Projeto Fatorial Fracionado com Resolução III*, Box et alii (1978). Os níveis dos respectivos fatores (variáveis independentes) podem ser conferidos na tabela 1. A boquilha **A** tem a menor abertura enquanto a **C**, a maior.

Tabela 1. Níveis dos Fatores Envolvidos na Experiência

FATORES	-1	0	+1
1)Volume Vazio do Tanque Pulmão(%)	60	65	70
2)Dureza da Palheta (N ^o)	2	2,5	3
3)Posição da Mordedura na Palheta	Interna	Centro	Externa
4)Boquilha	A	B	C
5)Área de Contato com palheta (m ²)	3x10 ⁻⁵	1x10 ⁻⁴	1,4x10 ⁻⁴
6)Quantidade de Estopa (kg)	0	0,015	0,030

3. Análise dos Resultados e Conclusões

Observamos que a área de contato com a palheta mostrou ser a variável de maior influência, tanto sobre a energia sonora emitida (intensidade) como sobre as frequências dos componentes espectrais. No entanto, neste experimento a variação da área de contato (mais de 450%) é muito grande com relação às demais variáveis. Como consequência, a magnitude de seu efeito é bastante superior. Por isso não devemos descartar a influência das outras variáveis, pelo menos por enquanto. Vale mencionar que o material para absorção sonora não teve muita relevância na sonoridade.

Notamos que as variáveis agem de modo homogêneo ao longo dos harmônicos. Na região *chaleur*, o 2^o e o 4^o harmônicos têm intensidades bastante reduzidas quando aumentamos a área de contato com a palheta.

O aumento do volume vazio, de 60% para 70% do volume total provoca uma diminuição da intensidade da fundamental e de seu 8^o harmônico. Porém ele provoca o aumento da intensidade do 5^o, 6^o, 10^o e do 12^o harmônicos. Os valores envolvidos apresentam magnitudes relativamente altas para a pequena variação de apenas 10% do volume total.

Quando passamos a mordedura de uma posição mais interna para uma mais externa notamos a tendência em enriquecer o 2^o harmônico e empobrecer o 4^o. No

entanto notamos que os harmônicos superiores também são empobrecidos quando a posição da mordedura é mais externa.

O aumento da área de contato de $0,3 \text{ cm}^2$ para $1,4 \text{ cm}^2$ diminui a frequência dos componentes espectrais. A dureza da palheta é o fator com a segunda maior influência sobre a frequência nesta região. O aumento da dureza da palheta de No 2 para 3, faz aumentar o valor das frequências dos componentes espectrais.

4. Referências

Helmholtz, H.L.F. (1877). *On the Sensations of Tone as a Physiological Basis for the Theory of Music*. 4th ed., trad. ELLIS, A.J. (Dover, New York, 1954)

Backus, J. (1985). The effect of the player's vocal tract on the woodwind instrument tone. *J. Acoust. Soc. Am.* 78, 17-20.

Backus, J. (1978). Multiphonic tones in the woodwind instruments. *J. Acoust. Soc. Am.* 63, 591-599.

Backus, J. (1974). Input impedance curves for the reed woodwind instruments. *J. Acoust. Soc. Am.* 56, 1266-1279.

Benade, A.H. e Kouzoupis, S.N. (1988). The clarinet spectrum: Theory and experiment. *J. Acoust. Soc. Am.* 83, 292-304.

Benade, A.H. e Larson, C.O. (1985). Requirements and Techniques for measuring the musical spectrum of the clarinet. *J. Acoust. Soc. Am.* 78, 1475-1498.

Benade, A.H. (1976). *Fundamentals of Musical Acoustics*. Oxford University Press, New York.

Nederveen, C.J. (1998). *Acoustical Aspects of Woodwind Instruments*. Northern Illinois University Press, DeKalb, Illinois.

Box, G.E.P.; Hunter, W.G.; Hunter, J.S. (1978). *Statistics for Experimenters – An Introduction to Design, Data Analysis and Model Building*. John Wiley & Sons, NY.

Hall, D.E. (1990). *Musical Acoustics*. Pacific Grove, CA: Brooks/Cole Publishing Monterey:Brooks/Coole.

Fletcher, N.H., Rossing, T.D. (1998). *The Physics of Musical Instrument*. Springer-Verlag, 2nd ed., NY.

Oliveira, L.C., Goldemberg, R., Manzolli, J. (2005) Estudo Experimental da Sonoridade “Chalumeau” da Clarineta através de Projeto Experimental. Anais da IX Convenção Nacional da Sociedade de Engenharia de Áudio, São Paulo, SP.