

## OS EFEITOS ACÚSTICOS DOS AEROFONES MADEIRAS NA ORQUESTRA SINFÔNICA

PACS: 43.75.Ef

Maria Lúcia Grillo<sup>1</sup>; Luiz Roberto Baptista<sup>1</sup> e Luiz Puginelli Brandão<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Rua São Francisco Xavier 524, sala 3034D, Maracanã, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, CEP 20.550-013, Tel: 55-21-23340844, e-mail: mluciag@uerj.br e maestroluizroberto@ig.com.br

<sup>2</sup>Colégio Estadual João Alfredo

Boulevard 28 de Setembro, 109 fundos, Vila Isabel, Rio de Janeiro, RJ, CEP 20551-030, Tel: 55-21-2234-2105, e-mail: luizbrand@gmail.com

### ABSTRACT

Observing the current symphony orchestra, we see that it remains romantic, with little evolution from Romanticism to the present day. It consists of string instruments, aerophones (woodwinds and brasses), idiophones and membranophones. The strings are the soul of the orchestra and its reason to exist. The aerophones are divided into woods and metals; metals have the same process of emission of sound and the same attach. The percussion has a multitude of instruments, with determined sound or not. In this work we study the acoustic effects of the woods in the orchestra, which can be of three kinds: free mouthpiece, single reed and double reed.

### RESUMO

Observando a orquestra sinfônica atual, constatamos que ela permanece romântica, havendo pouca evolução desde o Romantismo até os nossos dias nesta formação musical. Ela é composta por: cordofones, aerofones (madeiras e metais), idiofones e membranofones. As cordas são a alma da orquestra e sua razão de existir. Os aerofones dividem-se em madeiras e metais; os metais têm um processo de emissão sonora e ataque iguais. A percussão tem uma infinidade de instrumentos de som determinado ou não. Neste trabalho estudamos os efeitos acústicos das madeiras na orquestra, que podem ser de três espécies: embocadura livre, palheta simples e palheta dupla.

### INTRODUÇÃO

O termo aerofones é a designação da família de instrumentos de sopro, cuja coluna de ar é posta em vibração através do fluxo de ar de encontro a uma borda ou mediante uma palheta. Podem ser feitos de madeira, ebonite, metal (inclusive latão, no caso do saxofone), marfim ou outros materiais. Obtêm-se as notas tapando-se ou destapando-se os orifícios com os dedos, a fim de variar o comprimento de vibração da coluna de ar, diferente dos pistos dos metais. Os instrumentos de sopro podem ser oitavados, forçados a vibrar em seções, produzindo uma

nota mais aguda, normalmente uma 8<sup>a</sup> ou uma 8<sup>a</sup> e uma 5<sup>a</sup>, dependendo das propriedades físicas do tubo. (Sadie,1994:561) Ao contrário dos cordofones, cujo corpo vibrante é sólido (cordas que vibram transversalmente) os aerofones possuem o corpo vibrante gasoso (ar) e a vibração é longitudinal ao longo do tubo. (RIBEIRO, 2005:109) Seus tubos são do tipo aberto-fechado. Segundo Rossing (1990) a reflexão do ar ocorre com inversão de fase na extremidade aberta e sem inversão na extremidade fechada (bocal ou palheta). O ar introduzido é refletido e volta invertido, empurrando a palheta, e é novamente refletido invertido. Ao atingir novamente a extremidade aberta é novamente refletido e volta à posição inicial, puxando a palheta ou bocal, ao ser refletido novamente. (ROSSING, 1990:239) Segundo Fletcher (2008) as alturas das notas podem ser diminuídas aumentando um pouco o tubo, em uma ou mais de suas juntas, porém não deve exceder um quarto de semitom, pois prejudicaria a afinação na escala igualmente temperada. A afinação das madeiras aumenta com o aumento da temperatura, devido ao aumento da velocidade do som. Os cordofones diminuem a afinação com a temperatura, isso exige então uma atenção particular quanto à afinação nas orquestras. (FLETCHER e ROSSING, 2008:469-70)

## DESCRIÇÃO DOS INSTRUMENTOS

Os principais instrumentos em que o executante dirige o fluxo de ar de encontro a uma borda são os do tipo da flauta, tanto as sopradas pela extremidade (flauta doce) quanto lateralmente (flauta transversal).

Entre os instrumentos de palheta dupla (duas lâminas ou linguetas de cana, madeira, metal, etc, que vibram uma contra a outra) incluem-se o Oboé, o Corne inglês, o Fagote e o Contra fagote. Um dos mais antigos instrumentos de palheta dupla é o Krumhorn, em que a palheta não entra em contato com os lábios do executante; enquadra-se na categoria conhecida como “instrumentos de palheta encapsulada”.

Entre os instrumentos de uma única palheta que vibra contra o bocal, ou boquilha, encontram-se o Clarinete, a Requinta, o Clarone e a família dos Saxofones.

Esses três tipos de instrumentos formam o grupo (ou naipe) chamado aerofones madeira, embora nem todos sejam feitos de madeira, mas possuem algumas características comuns.

As principais madeiras usadas na Orquestra Moderna são: a Flauta transversal em Dó, Flauta em Sol, Flautim em Dó, o Oboé em Dó, o Corne inglês em Fá, Fagote em Dó (digitação francesa ou alemã) e Contra fagote (8<sup>a</sup> abaixo do fagote), o Clarinete em Sib e Lá, a Requinta em Mib, o Clarone em Sib e Mib. Também faz parte ocasionalmente, em algumas peças, a família dos saxofones: Saxofone Soprano em Sib, Alto em Mib, Tenor em Sib, Barítono em Mib e o Baixo em Sib (pouco usado).

## OS AEROFONES MADEIRAS NA ORQUESTRA SINFÔNICA

A palavra orquestra (do grego orkhêstra e do latim orchestra) designava nos teatros da Grécia antiga, o local onde se reuniam os coros para as danças e evoluções em volta do Tímele (altar de Dionísio). Nos teatros romanos, designava o lugar reservado aos senadores e magistrados. Em nossos dias designa, universalmente, um conjunto instrumental organizado com uma certa proporcionalidade entre as diversas sonoridades e timbres de que se compõem e as exigências das diversas técnicas de composição. (SADIE, 1994:685)

Ao longo do tempo uma determinada formação orquestral foi se estabelecendo por vários motivos. O mais importante deles foi a projeção sonora, pois tocar nas salas de concerto com instrumentos de timbre agradável, porém com intensidade sonora fraca, levou os compositores

a preferirem aqueles instrumentos apropriados para salas repletas de gente querendo ouvir boa música.

Conforme Lima (1948), o Orfeu de Monteverdi (1607) foi executado com: 2 cravos, 2 contrabaixos de viola, 1 harpa dupla, 2 órgãos de madeira, 3 violas de gamba, 2 violinos à francesa, 10 violas de braço, 1 flauta (espécie de flageolé), 2 cornetas de madeira, 1 trombeta aguda, 3 trombetas com surdina, 4 trombones e 1 regale (espécie de realejo). Com essa orquestra, enorme para a época, estava lançada a pedra fundamental do grande edifício da música orquestral. Depois disso começam a aparecer os conjuntos instrumentais mais numerosos e a música orquestral eleva-se a alturas nunca sonhadas, delineando-se claramente os rumos à moderna orquestração. Constituem-se por toda parte orquestras de festa e orquestras de baile. Difunde-se o gosto pelos instrumentos da família das violas. (LIMA, 1948:164).

A orquestra bachiana, a despeito do emprego ocasional do trombone, era constituída dos seguintes instrumentos: 2 flautas, 2 ou 3 oboés, 1 a 2 fagotes, 3 trompetes, 3 primeiros violinos, 3 segundos violinos, 4 violas, 2 violoncelos e 1 contrabaixo.

Conforme Károlyi (2002), Haydn, Mozart e Beethoven foram os marcos mais eminentes da orquestra clássica. Era a seguinte a sua constituição: 2 flautas, 2 oboés, 2 clarinetes, 2 fagotes, 2 trompetes, 2 trompas, 1 par de tímpanos, 10 primeiros violinos, 8 segundos violinos, 6 violas, 6 violoncelos e 4 contrabaixos. Podia variar em número de violinos ou na introdução de um ou outro instrumento. O conceito de orquestra clássica admite, assim, certa relatividade. Em Beethoven, só na 9ª Sinfonia, a orquestra não pode ser considerada clássica. O período em que os compositores utilizaram-se da orquestra do tipo clássico foi de 60 anos, aproximadamente, alcançando o início do séc. XIX. Mas vale a pena ressaltar a curiosa formação orquestral da Ópera de Paris (1775): 3 flautas, 3 oboés, 2 clarinetes, 8 fagotes, 1 trompete, 2 trompas, 1 par de tímpanos, 1 tambor, 3 violas, 22 violinos (1<sup>os</sup> e 2<sup>os</sup>), 4 violoncelos e 6 contrabaixos. (Károlyi, 2002:177)

Mozart resolveu viver por conta própria, sem patrocínio do clero ou da nobreza, usando o seu talento extraordinário para receber encomendas de peças musicais e também aumentar o público nas récitas para que através do ingresso viesse o pagamento do trabalho. Ele (um gênio inigualável em sua época e ainda permanece genial hoje) talvez tenha sido realmente o primeiro músico na História da Música a buscar essa autonomia. Infelizmente sem sucesso, pois morreu na miséria. Beethoven teve mais sucesso um pouco depois e até deixou um testamento com bens para seu sobrinho.

No século XIX, com o advento do Romantismo, a orquestra toma novo impulso. As escolas de virtuosidade do violino e do piano, que se estabelecem por toda a parte, difundem o gosto pela técnica instrumental e esse virtuosismo influencia diretamente a criação orquestral. Primeiro Paganini, depois Liszt, criam efeitos especiais, prodígios de técnica, nos seus instrumentos, a que a orquestra não pode ser insensível. A orquestra, já enriquecida com o advento dos instrumentos de válvulas e pistões, de que o fabricante Adolfo Sax a dotara, transforma-se repentinamente com Berlioz. Na França, a orquestra de Paris passa por reforma e tem a seguinte organização: 3 flautas, 2 oboés, 1 corne inglês, 2 clarinetes, 1 clarinete baixo, 4 fagotes, 4 trompas, 3 trompetes, 2 cornetins, 3 trombones, 1 tuba, 1 par de tímpanos, 1 tambor, 1 triângulo, 1 bombo, 1 par de pratos, 4 harpas, 40 violinos (1<sup>os</sup> e 2<sup>os</sup>), 10 violas, 12 violoncelos e 10 contrabaixos. Além desses instrumentos há ainda os saxofones, os saxhorns e os sarrusofones, os quais figuram, às vezes, excepcionalmente. (LIMA, 1948:165)

A supremacia da parte musical sobre a literária no drama wagneriano leva o autor da Tetralogia a aumentar de muito a sonoridade da orquestra, o que faz por meio de uma orquestração verdadeiramente suntuosa, em que os instrumentos de sopro desempenham papel de extraordinária relevância, e ainda pela elevada quantidade deles. Neste ponto se dá a transição da orquestra romântica para a moderna de Wagner.

A orquestra sinfônica contemporânea abraça quase todos os instrumentos de sopro atuais. Assinala-se o emprego em alta escala, dos instrumentos de percussão de tipos os mais diversos e uma tendência bem acentuada de incorporação do piano entre os instrumentos obrigatórios. Algumas vezes até a voz humana tem sido usada como instrumento da orquestra. Outras vezes retiram-se os violinos, como fez Strawinski na Sinfonia dos Salmos, ou se lhe junta toda uma banda de música do tipo militar, como fez Villa Lobos na Sinfonia Guerra.

O pensamento criador nos domínios da composição musical, imediatamente influenciado pelas revolucionárias correntes modernistas (Impressionismo e Expressionismo) necessariamente expandiu-se no colorido orquestral. No Atonalismo e no Politonalismo acontecem inusitados processos de orquestração. Sonoridades e timbres diversos entrosam-se em exuberante polirritmia, fundem-se em agregações sônicas e, quais fórmulas físicas, circulam na composição dos mais variados matizes pitorescos da expressão musical por meio da orquestra.

### **FASES HISTÓRICAS DA ORQUESTRA**

Conforme Lima (1948), as fases históricas da orquestra são: 1) Antiga: Monteverdi, Cavalli, Carissimi, Lulli, etc; 2) Pré-Clássica: Scarlatti, Rameau, J.S.Bach, Haendel, etc; 3) Clássica: C. F. E. Bach, Haydn, Mozart, Beethoven, etc; 4) Romântica: Ópera de Paris (1775), Weber, Merverbeer, Mendelsshon, Schumann, etc; 5) Moderna: Berlioz, Wagner, Strauss, G. Mahler, etc; 6) Contemporânea: Schoenberg, Strawinski, Vila-Lobos, Shostakovich, Prokofiev, etc.

### **DISPOSIÇÃO DOS INSTRUMENTOS DA ORQUESTRA**

A disposição dos instrumentos da orquestra condiciona-se a vários fatores, não só de caráter estético, mas acústico e técnico, relacionados com a natureza, sonoridade e timbre dos instrumentos e a importância do seu papel no conjunto. Alguns regentes vêm adotando há algum tempo (provavelmente após 1830) uma disposição em que os 1<sup>os</sup> e 2<sup>os</sup> violinos ficam à esquerda e as violas e violoncelos à direita do regente. As madeiras, sempre que possível, ficam em frente ao regente por trás das cordas. Mas isso varia muito de regente para regente. A justificativa é sempre acústica.

### **O PAPEL PRIMORDIAL DAS MADEIRAS NA ORQUESTRA SINFÔNICA**

Debussy, célebre compositor francês, inicia a sua famosa “L’après midi d’un faune” (1894) com um solo de flauta transversa sem acompanhamento e anuncia uma nova maneira de orquestrar que o diferencia completamente de Wagner. Isso é só um exemplo brilhante de atribuição de importância a um naipe que tem função diferenciada na orquestra. No Concerto de Aranjuez, de J. Rodrigo, o solo de corne inglês, do famoso Adágio, dá um toque misterioso que anuncia com precisão o solo de violão, talvez o mais famoso da história do instrumento. Esses duos, trios, quartetos, quintetos, funcionando como naipe dentro da orquestra, traz um som que os diferencia das cordas e dos metais. Os de palheta dupla: oboé, corne inglês, fagote e contra fagote, têm um timbre anasalado que lembra antigos instrumentos. Prestam-se tanto para músicas bucólicas como para passagens mais céleres. Os de palheta simples: requinta, clarinete, cor de basset (Fá), clarone Mi bemol e Si bemol (baixo) são instrumentos usados em passagens de extrema agilidade. A palheta simples apertada junto à boquilha traz um timbre característico ao instrumento que o diferencia de todos os outros instrumentos de sopro.

Os chamados de embocadura livre, onde o sopro é de maneira tangencial ao orifício do bocal, são as flautas: flautim, flauta em dó (soprano), flauta (alto) em sol (4<sup>a</sup> abaixo), flauta baixo (8<sup>a</sup> abaixo da soprano) que na realidade, levando-se em conta a voz humana, deveria chamar-se tenor.

Na partitura do regente as madeiras ocupam a 1ª posição onde a ordem de visualização de cima para baixo é: Madeiras, Metais, Percussões e Cordas. As madeiras ficam localizadas sempre em frente ao regente, às vezes se usa um praticável para destacar sua importância que normalmente é fundamental e coloca os músicos num plano mais elevado acima das cordas para que sua sonoridade distinta se projete e se destaque da massa sonora das cordas.

As combinações tímbricas são muito interessantes nas madeiras e podemos citar algumas mais usadas: flauta e flautim dobrando a melodia que se oitava naturalmente; flauta e fagote que mostram um som anasalado da palheta dupla combinado com o timbre do bocal soprado diretamente para um orifício no bocal. O clarinete tocado em duo com o fagote provoca uma sensação diversa da anterior, pois um tem uma boquilha com uma palheta simples que se presta a qualquer tipo de passagem musical rápida ou lenta e geralmente usada sem vibrato. Já o fagote (que também realiza muito bem as passagens rápidas), sobretudo nas passagens lentas, aproveita-se muito bem da riqueza do vibrato transmitindo a percepção de um instrumento “plano” sem vibrato (clarinete) e o outro cheio de variações sonoras com o vibrato (fagote). Há também outras combinações menos usadas, mas igualmente interessantes, como contrafagote e fagote, corne inglês e clarinete, flautim e fagote. Os especialistas em orquestração como Rimsky-Korsakov (1844-1908) e Maurice Ravel (1875-1937) souberam tirar novos timbres das combinações dos aerofones madeiras. Ravel mostrou seu talento genial para a orquestração na obra para piano solo “Quadros de uma Exposição” de M. Mussorgsky e também no “Bolero” (que nada mais é do que um grande estudo de timbres com novas combinações), que incluem o saxofone (usado com vibrato) nas madeiras. As madeiras são uma maneira diferente de pensar a música, pois o que é tocado nas cordas pode ser repetido nas madeiras ou nos metais e tem impacto acústico e emocional completamente distinto.

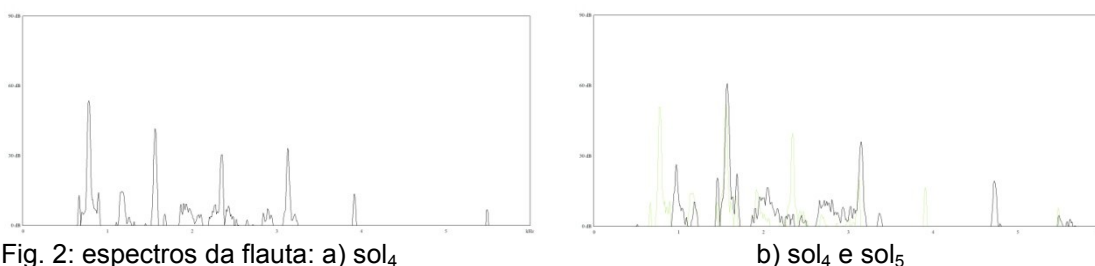
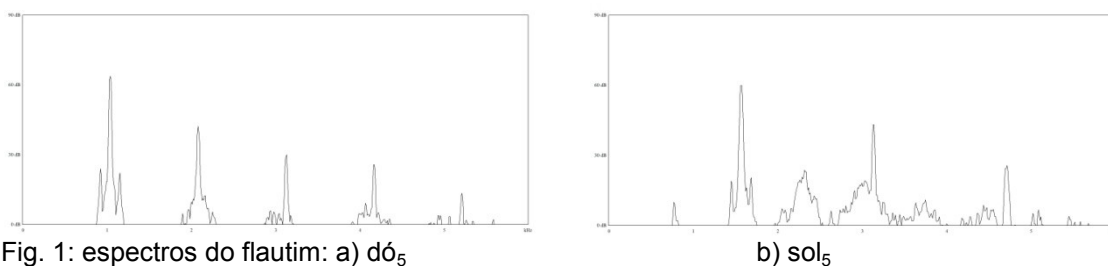
#### ESPECTROSCOPIA SONORA DOS AEROFONES MADEIRAS: resultados e conclusões

Foram obtidos os espectros sonoros dos cinco aerofones normalmente utilizados em orquestras sinfônicas, que evidenciam a variedade de timbres. Os instrumentos foram os seguintes: flautim Armstrong, flauta transversa Armstrong, fagote Conductor, oboé Conductor, clarinete Yamaha. Os níveis de pressão sonora de algumas notas foram obtidos a uma distância de 1 m, na direção frontal do instrumento, com execução forte. Os valores médios do Leq, medidos com um sonômetro marca Instrutemp, modelo ITDEC 4020, estão apresentados na tabela 1 e evidenciam, conforme Grillo (2012 e 2013), que os aerofones madeira são muito intensos, principalmente em frequências mais altas, mais que os cordofones, porém não tanto quanto os aerofones metais. A flauta doce já fez parte da orquestra sinfônica, porém devido ao seu baixo nível de pressão sonora, foi retirada, com o aumento do número de outros instrumentos. As notas agudas e super agudas, dentro de cada extensão do instrumento, necessitam gradativamente de maior pressão no ataque. Usamos notas médias para cada instrumento.

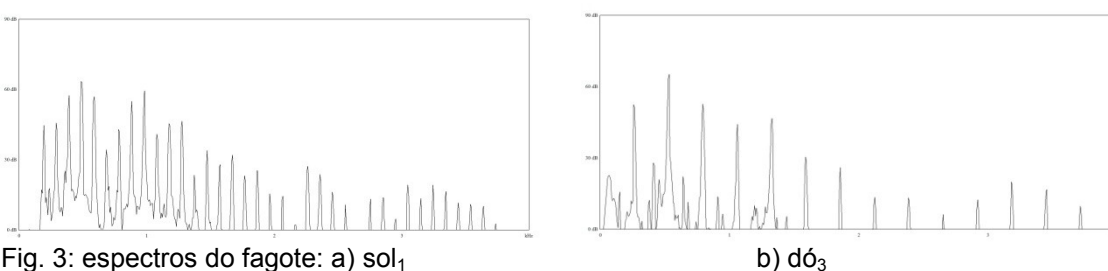
Instrumento	Nota	NPS - Leq - dB(A)
Flautim	Sol <sub>5</sub>	83
Flauta transversa	Sol <sub>4</sub>	75,3
Fagote	Dó <sub>2</sub>	82,8
Oboé	Sol <sub>4</sub>	83,5
Clarinete	Si <sub>b2</sub>	80,0

O mais agudo dentre eles é o flautim. A figura 1 apresenta 2 espectros do flautim, emitindo o dó<sub>5</sub> e o sol<sub>5</sub> (frequências 1.046 Hz e 1568 Hz respectivamente). Conforme pode ser observado, as linhas da frequência fundamental e harmônicos são ladeadas por ruídos, referentes ao sopro com alta pressão, que normalmente está presente durante a execução desse instrumento, e é necessário para a emissão equilibrada das notas. Seu som é intenso, devido principalmente ao primeiro harmônico, e apresenta um deslocamento para frequências maiores, principalmente em harmônicos mais agudos.

Na figura 2a vemos o espectro da nota  $sol_4$  emitida por uma flauta transversa em dó e na figura 2b dois espectros superpostos ( $sol_4$  em verde e  $sol_5$  em preto). O espectro do  $sol_4$  da flauta transversa (fig. 2a) apresenta a frequência fundamental e 5 harmônicos. Podemos ver que o 5º harmônico está ausente e aparece o 6º harmônico. Há a presença de ruídos não harmônicos e a frequência fundamental é a mais intensa, como no flautim. Podemos observar que a flauta é um instrumento harmônico, pois os 4 primeiros harmônicos mantêm uma relação exata com a frequência fundamental de múltiplos inteiros. Na figura 2b podemos comparar os ruídos, as intensidades relativas e as frequências presentes. Pode ser observado que a emissão de notas mais altas exige do músico mais pressão no bocal, o que gera um ligeiro deslocamento para frequências mais altas e um aumento nos ruídos.



O fagote é um pouco menos harmônico que a flauta transversa e o flautim, apresentando um deslocamento para frequências maiores a partir do primeiro harmônico. Na figura 3 vemos 2 espectros do fagote, com as notas  $sol_1$  (98 Hz) e  $dó_3$  (261,6 Hz).



Na figura 3b podemos observar que estão presentes as frequências fundamental e vários harmônicos. A fundamental não é a mais intensa. O espectro do  $sol_1$  não possui a frequência fundamental, apresentando o primeiro harmônico um pouco menos intenso que o segundo e são evidenciados os formantes, que geram uma espécie de envoltória no espectro, devido a maiores intensidades em algumas frequências. A fundamental também está ausente nas notas  $dó_2$ ,  $ré_2$ ,  $mi_2$  e  $fá_2$ . Segundo Fletcher e Rossing (2008) a radiação fundamental é fraca nas notas mais baixas devido ao pequeno diâmetro do tubo e seu timbre é aveludado e não brilhante, devido à relativamente baixa frequência de corte, em torno de 300 a 600 Hz. (FLETCHER e ROSSING, 2008:495) Acima da frequência de corte o som é irradiado livremente e não reflete de forma que não produz ressonância. Os dois espectros das figuras 3a e 3b apresentam picos pequenos não harmônicos devidos aos ruídos gerados pelo sopro do músico na palheta dupla. A ausência da frequência fundamental acontece apenas em algumas notas no fagote. Temos a

sensação de ouvir a fundamental devido à superposição das frequências harmônicas. O mesmo acontece quando superpomos uma luz azul e uma amarela, gerando a percepção de uma luz verde, embora esta não esteja sendo emitida. Segundo Grothe e Kob (2013) a radiação do fagote varia de monopolo para multipolo. O aparecimento ou não da fundamental depende da direcionalidade e uma possível explicação pode ser a interferência destrutiva de dois componentes de igual densidade de radiação que aparecem em dipolos. Obtivemos espectros com variação da direção e confirmamos a dependência da direção da medida.

Na figura 4 vemos 3 espectros do  $\text{sol}_2$  (196 Hz) do fagote, com emissão forte, piano e pianíssimo. Vemos que as frequências não diminuem de forma uniforme e na emissão pianíssimo aparecem de forma mais intensa os harmônicos ímpares, que estariam presentes mesmo que o tubo não fosse levemente cônico. Os harmônicos mais agudos são pouco intensos no espectro forte e não aparecem no espectro pianíssimo, o que evidencia uma mudança gradativa do timbre com a diminuição da pressão na palheta dupla.

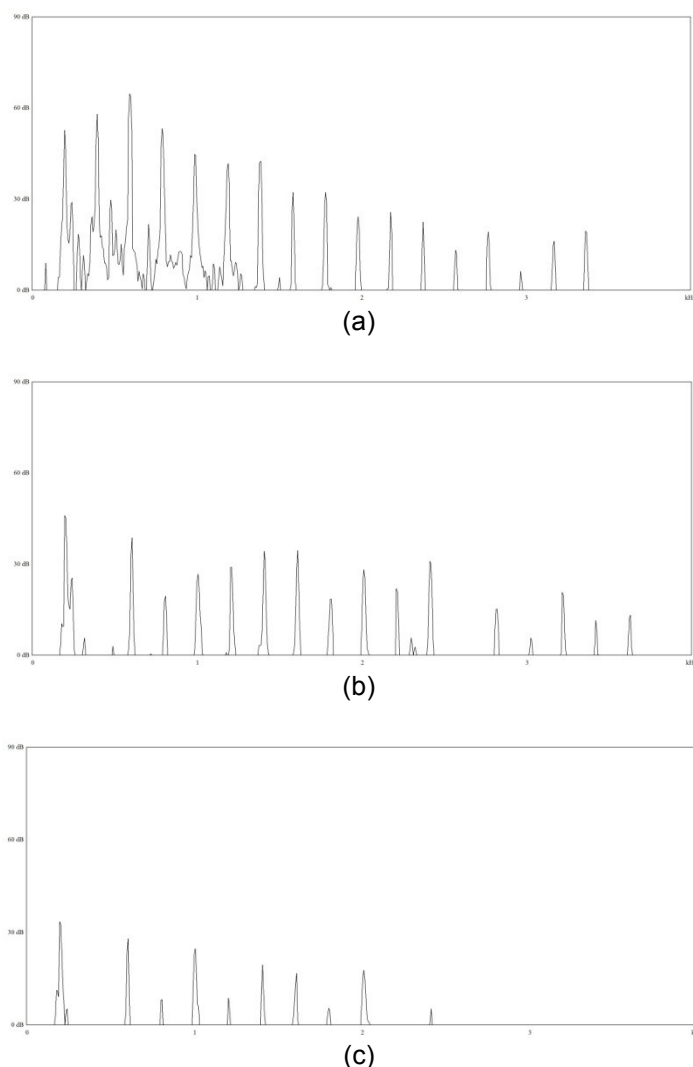


Fig. 4: espectros do  $\text{sol}_2$  do fagote: a) forte, b) piano, c) pianíssimo

Os espectros do oboé estão apresentados na figura 5, com emissão das notas  $\text{dó}_3$  (261,6 Hz) e  $\text{dó}_4$  (523,2 Hz). A fundamental da nota  $\text{dó}_3$  do oboé é um pouco mais intensa que o primeiro harmônico, porém aparecem outros harmônicos com frequências bem mais intensas. No  $\text{dó}_4$  a fundamental é a menos intensa. Em ambos os espectros foi observado o mesmo deslocamento para frequências mais altas. Podemos comparar os espectros do oboé e do fagote com

emissão da nota  $dó_3$ . No fagote a fundamental é menos intensa que o primeiro harmônico, o que não acontece com o oboé. O deslocamento para frequências mais elevadas nos harmônicos está presente em ambos. O oboé possui os harmônicos mais agudos bem mais intensos que o fagote, o que resulta em um timbre mais brilhante.

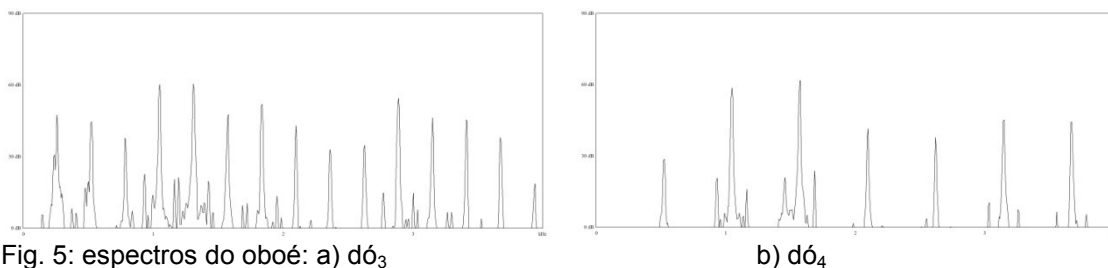


Fig. 5: espectros do oboé: a)  $dó_3$

b)  $dó_4$

Na figura 6 vemos dois espectros do clarinete, emitindo o  $si_b_2$  (233,08 Hz) e  $sol_2$  (196 Hz). Os outros aerofones apresentados aqui emitem as mesmas frequências das notas escritas, porém o clarinete em  $si_b$  (acompanhado de sua família: requinta, clarinete em lá, clarinete alto em  $mi_b$  e clarinete baixo em  $si_b$ ) é um instrumento transpositor, de forma que as notas escritas nas músicas são diferentes das notas emitidas. Escreve-se 1 tom acima do que soa.

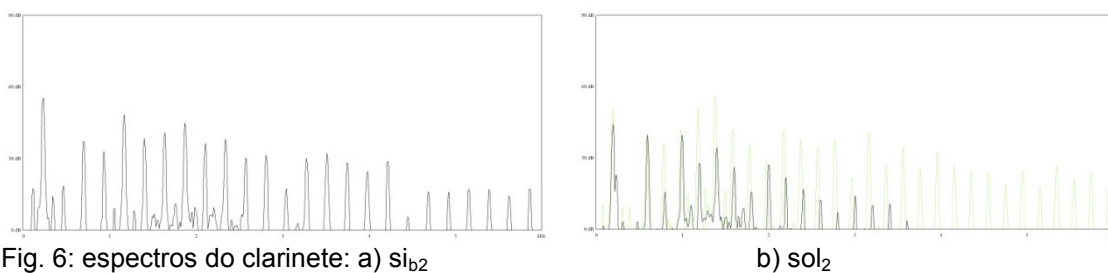


Fig. 6: espectros do clarinete: a)  $si_b_2$

b)  $sol_2$

Na figura 6b vemos 2 espectros superpostos do  $sol_2$ , com emissão forte em verde e emissão piano em preto. Podemos ver que os harmônicos superiores não aparecem no espectro em piano, onde os primeiros harmônicos são bem mais intensos, com rápido decaimento nos harmônicos seguintes.

Agradecemos ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelos auxílios recebidos.

## REFERÊNCIAS

- FLETCHER, N. e ROSSING, T. D. *The Physics of Musical Instruments*, New York: Springer, 2008.
- GRILLO, M. L. e BAPTISTA, L. R. *Os efeitos acústicos dos aerofones metais*, Tecnicústica, 2014.
- GRILLO, M. L. e BAPTISTA, L. R. *Uma abordagem interdisciplinar dos cordofones friccionados*, Tecnicústica, 2012.
- GROTHER, T. E KOB, M. *Investigation of basson directivity*, Proceedings of the Stockholm Music Acoustics Conference, Stockholm, Sweden, 2013.
- KÁROLYI, O. *Introdução à Música*, São Paulo: Ed. Martins Fontes Ltda., 2002.
- LIMA, F. A. *Elementos Fundamentais da Música*, Rio de Janeiro: Cia. Editora Leitura, 1948.
- RIBEIRO, J. A. S. *Sobre os Instrumentos Sinfônicos e em torno deles*, Rio de Janeiro: Ed. Record, 2005.
- ROSSING, T. D. *The Science of Sound*, Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company, 1990.
- SADIES. (org.) *Dicionário Grove de Música*, Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 1994.