

Estudo comparativo do efeito de três diferentes surdinas na intensidade sonora de seis violinos

Marcus Vinicius da Silva Evangelista¹

UFMG/PPG EM MÚSICA - DOUTORADO

SIMPOM: Linguagem e Estruturação/Teoria da Música/Sonologia

marcusvsev@gmail.com

Resumo: O presente artigo é baseado em pesquisa de mestrado intitulada “Estudo comparativo do efeito de três diferentes surdinas na sonoridade de seis violinos: alterações na intensidade e no espectro harmônico”, desenvolvida de 2017 a 2019, no Programa de Pós-Graduação em Música da UFMG. O trabalho investigou os efeitos produzidos na sonoridade de seis violinos, de diferentes qualidades, pelo uso de três diferentes surdinas, por meio de um estudo comparativo entre os instrumentos em quatro condições de estudo: sem surdina e com cada uma das três surdinas. Foram utilizados como parâmetros de análise a alteração da intensidade na sonoridade dos instrumentos sob efeito das surdinas e as alterações produzidas pelos dispositivos no espectro harmônico de notas isoladas e médias de notas selecionadas e o uso de LTAS nas quatro condições de estudo. O presente artigo descreverá a metodologia adotada para a amostragem dos instrumentos nas diferentes condições de estudo e os procedimentos para análise das amostras em relação às alterações na intensidade sonora dos instrumentos, apresentando os resultados obtidos especificamente em relação a esse aspecto da pesquisa.

Palavras-chave: Surdina. Violino. Timbre. Análise espectral. Análise Acústica.

Comparative Study of the Effect of Three Different Mutes on the Sound Intensity of Six Violins

Abstract: This article is based on a master's research entitled “Comparative study of the effect of three different mutes on the sound of six violins: changes in intensity and harmonic spectrum”, developed from 2017 to 2019, in the Graduate Program in Music at UFMG. The work investigated the effects produced in the sound of six violins, of different qualities, using of three different mutes, through a comparative study between the instruments in four study conditions: without mute and with each of the three mutes. As parameters of analysis were used the variation of the loudness of the instruments under the effect of muting and the alterations produced by the devices in the harmonic spectrum of isolated notes and averages of selected notes and the use of LTAS in the four study conditions. This article will describe the methodology adopted for collecting data from the instruments in the different study conditions and the procedures for analyzing the samples in relation to changes in the sound intensity of the instruments, presenting the results obtained specifically in relation to this aspect of the research.

Keywords: Mute. Violin. Timbre. Spectral analysis. Acoustics Analysis.

1 Introdução

A pesquisa analisou os efeitos de três diferentes tipos de surdina na sonoridade de seis violinos em relação à alteração na intensidade original dos instrumentos e ao espectro

¹Orientador Doutorado: Prof. Dr. Sérgio Freire, UFMG; Orientador Mestrado: Prof. Dr. Maurício Freire Garcia, UFMG / Coorientador Mestrado: Prof. Dr. Davi Alves Mota, UFMG.

harmônico (por meio da comparação de espectros de notas isoladas e médias de espectros de repetições da mesma nota, representativas da extensão analisada dos instrumentos, e, também, pela comparação entre a LTAS² das amostras ou agrupamentos de amostras). O artigo introduzirá o tema da pesquisa, apresentando uma breve contextualização do objeto de estudo, as surdinas para violino, descrevendo em seguida a metodologia desenvolvida para a amostragem do som dos instrumentos em quatro condições de estudo (sem surdina e com três diferentes surdinas). Será descrito, também, o processo de análise das amostras em relação às alterações na intensidade da sonoridade original dos instrumentos e apresentados os resultados e discussão em relação, apenas, a esse parâmetro – a intensidade sonora. Em futuras publicações serão explorados os resultados relativos às análises espectrais desenvolvidas na pesquisa.

O uso da surdina é uma prática bastante difundida na música orquestral, e, apesar de seu uso alterar bastante a sonoridade dos instrumentos de arco e, conseqüentemente, dos naipes de cordas (criando “atmosferas” muito distintas da sonoridade típica das mesmas), não há, entretanto, maior critério na escolha entre os diferentes tipos de surdina disponíveis. Há pouca pesquisa científica a respeito de surdinas. Encontra-se certo número de citações à utilização das mesmas como suporte a pesquisas acerca de outros assuntos, notadamente do cavalete do violino (GILTAY, HAAS, 1909; CREMER, 1984; FLETCHER; ROSSING, 2012; ELIE, GAUTIER, DAVID, 2014), e pouca coisa além disso (KISHI, 1998; LOUGHRIDGE, 2016 SARCH, 2017). É surpreendente que não haja discussões, com raras exceções, quanto à uniformização do uso do dispositivo em um mesmo conjunto. É normal que instrumentistas de um mesmo grupo escolham suas surdinas individualmente, sem uma definição comum por determinado tipo, o que poderia padronizar a alteração da sonoridade das cordas, ignorando-se qual tipo de surdina seria mais adequado a determinado repertório, a determinada formação, a dado ambiente de execução.

A pesquisa procurou, portanto, iniciar, por meio de parâmetros objetivos, uma descrição de como as surdinas alteram a sonoridade dos instrumentos, de tal forma que seu uso possa ser feito com maior consciência, por parte de instrumentistas e compositores, da variedade de efeitos possíveis, sendo escolhida determinada surdina de acordo com os diferentes contextos nos quais pode ser empregada, em sintonia com os diferentes objetivos estéticos que pode realizar.

² *Long Term Average Spectrum*: “Média Espectral de Longo Termo” (tradução nossa); alguns autores substituem “*term*” por “*time*”, quando então a expressão poderia ser traduzida como “Média Espectral de Período Longo”.

2 As surdinas de violino

As surdinas de instrumentos de arco são dispositivos de formatos variados, feitos com diferentes materiais (madeira, variados metais, borracha e outros materiais sintéticos e com combinações destes) acoplados diretamente ao cavalete³ dos instrumentos, com ou sem contato com as cordas, ou a estas, quando então deslizam nas mesmas entre o estandarte⁴ e o cavalete, entrando em contato com este último (figs. 1 e 2, respectivamente). Produzem dois efeitos: alteração da intensidade e do timbre do som emitido pelos instrumentos. Considera-se que, atualmente, sua função principal seja a alteração do timbre, sendo a variação da intensidade do som apenas um efeito secundário. Somente no caso das surdinas “de estudo” (*Practice Mute*), o objetivo principal é a redução radical da intensidade do som (sendo também denominadas, em português, “abafadores”), para que se pratique o instrumento em ambientes ou circunstâncias onde seja necessário que ele emita o mínimo de som possível.



Figura 1 – surdina acoplada ao cavalete
(fonte: imagem própria)

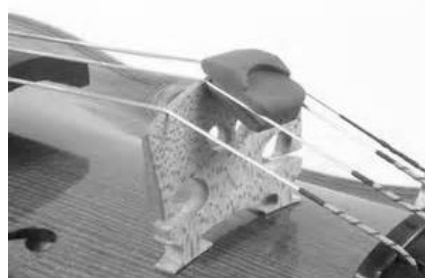


Figura 2 – surdina acoplada às cordas
(fonte: internet, sem autoria)

As surdinas alteram o comportamento vibracional original do cavalete, peça de importância fundamental na composição do timbre dos instrumentos de arco (CREMER, 1984; DONOSO et al., 2008; FLETCHER; ROSSING, 2012; ROSSING; MORRISON, 2010). Produzem, dessa forma, efeitos variados, de acordo com suas características físicas: rigidez do material de que são feitas, formato, área e mecanismo de contato das mesmas com o cavalete, e, principalmente, da massa acrescentada ao sistema.

São utilizadas, também, nos outros instrumentos da família do violino (viola e violoncelo) e, mais raramente, no contrabaixo acústico. Pode ser pedido o seu uso em todas as cordas da orquestra, ou conjunto de câmara, de uma vez, ou em naipes⁵ ou grupos específicos.

³ Peça feita de madeira onde as cordas se apoiam ao serem tensionadas, permitindo a vibração das mesmas.

⁴ Peça, preferencialmente feita de madeira, de formato aproximadamente triangular, onde são presas as cordas do violino.

⁵ Naípe: denominação de um grupo de instrumentos do mesmo tipo em uma orquestra, que tocam, geralmente, uma mesma parte musical (por exemplo: naípe dos primeiros violinos, naípe dos contrabaixos etc.)

Os primeiros registros remontam à segunda metade do séc. XVII (LOUGHRIDGE, 2016; SARCH, 2017). Inicialmente, acredita-se, eram fabricadas, preferencialmente, com diferentes metais, tendo como função básica diminuir a intensidade do som dos instrumentos (LOUGHRIDGE, 2016). Posteriormente, sobretudo a partir do fim do séc. XVIII, o dispositivo passou a ser visto como um recurso de variação do timbre dos instrumentos, principalmente no contexto orquestral. Observa-se então a mudança de preferência das surdinas de metal (cujo efeito de atenuação é muito forte devido ao seu grande peso) para as feitas com madeira, que produzem nuances variadas na sonoridade dos instrumentos, sem reduzir, necessariamente, a intensidade de forma tão acentuada, tornando-se o “padrão” ao longo do séc. XIX. Somente no séc. XX as surdinas de madeira perderão a preferência dos instrumentistas, sendo substituídas pelas feitas com novos materiais, como borracha e plástico, e, igualmente, com novas propostas de design.

3 Metodologia de pesquisa

3.1 Violinos utilizados na pesquisa

O trabalho selecionou seis instrumentos para a coleta de dados, tendo como critério básico a diversidade na construção dos instrumentos, visando exemplos das variáveis possíveis da sonoridade do violino, condicionadas por fatores tais como: materiais utilizados para a construção dos mesmos, processo de fabricação (industrial ou artesanal), perícia no artesanato. Foram selecionados, portanto, dois instrumentos considerados de baixa qualidade (industriais), dois medianos (semiartesanais/indefinidos) e dois de qualidade profissional (artesanais).

3.2 Surdinas utilizadas na pesquisa

Surdina 1



Figura 3 – surdina 1, em tamanho real (fonte: imagem própria)

Surdina de borracha de formato circular (fig. 3), com dente único para fixação no cavalete, muito popular entre os instrumentistas por sua fácil utilização e baixo custo. Pode ser acoplada ao cavalete em três posições (de duas em duas cordas), sendo, porém, a utilização mais comum, e que foi adotada na pesquisa, a posição central (nas cordas Lá e Ré do violino). Características físicas: borracha semiflexível, com 1,9cm de diâmetro x 0,8cm parte superior e 0,4cm parte inferior; peso de 1,85 gramas.

Surdina 2

Figura 4 – surdina 2, em tamanho real (fonte: imagem própria)

Surdina de ébano, (fig. 4), em formato de garfo, com três dentes, típico das surdinas “clássicas”. Das três estudadas é o modelo mais antigo. Até a popularização das surdinas de borracha e outros materiais sintéticos era muito comum nas orquestras. Utilizada na posição central. Produz efeito forte, em termos de alteração de intensidade e de timbre, sendo eventualmente considerada, hoje, uma “surdina de estudo”. Características físicas: ébano, com 2,8cm x 3,2cm x 0,75cm e peso de 5,70 gramas.

Surdina 3

Figura 5 – surdina 3, em tamanho natural (fonte: internet, sem autoria)

“Surdina de estudo” ou abafador (fig. 5), de metal cromado, com quatro dentes e uma só posição de encaixe, que cobre toda a superfície do cavalete. Peso muito superior ao das outras duas surdinas analisadas, gera efeito nitidamente mais forte do que as outras. Utilizada em princípio, apenas, para exercitar o instrumento em áreas sem preparo acústico, como apartamentos ou quartos de hotel. Características físicas: metal cromado, com 5cm x 2cm x 1,1cm e 44,9 gramas de peso.

3.3 Protocolo de execução instrumental e gravação das amostras

Os violinos receberam na corda Sol duas marcas, delimitando o ponto de contato⁶ a ser adotado pelos executantes. Tal marcação foi feita com a largura de 1,3 cm entre as marcas, em direção ao cavalete, a partir do meio da distância entre a extremidade do espelho⁷ e o

⁶ Ponto em que a crina do arco toca a corda.

⁷ Peça que se projeta além do braço, sobre a caixa de ressonância, na qual o instrumentista prende as cordas com os dedos da mão esquerda.

cavalete. Foi utilizado em todas as gravações um mesmo arco, cujo feixe de crina mede 65 cm de comprimento por 1,2 cm de largura, em média. A vareta do arco foi marcada no meio da extensão da crina para sincronização do deslocamento do mesmo com o metrônomo.

Os executantes gravaram no laboratório do CEGeME (Centro de Estudos do Gesto e Expressão Musicais), na Escola de Música da UFMG. Foi utilizada nas gravações uma mesma interface de áudio, de dois canais, com conexão USB com o computador e um microfone de tipo condensador no padrão polar cardioide. Cada participante usou um fone por meio do qual ouvia o metrônomo e uma trilha guia MIDI, com a sequência a ser tocada registrada utilizando-se o temperamento igual, afim de reduzir oscilações na afinação. Os instrumentistas, sentados numa mesma posição, sempre com o microfone à mesma distância, foram instruídos a tocar sem vibrato, com *détaché*⁸, o mais forte possível (mantendo a qualidade do som), dentro das seguintes condições: ponto de contato delimitado pelas marcas na corda Sol, com toda a extensão da crina do arco, seguindo duas batidas de metrônomo a 60 BPM para cada nota, sincronizando a segunda batida com a marca feita na vareta do arco no meio do mesmo, visando a maior regularidade possível.

3.4 Critérios para a definição da execução instrumental

Considerou-se para a definição da forma de execução a relação entre os três parâmetros básicos de utilização do arco: velocidade de deslocamento do mesmo, pressão da crina contra a corda e ponto de contato com a corda (BOSÍSIO; LAVIGNE, 1999; DONOSO et al., 2008; FLETCHER; ROSSING, 2012). O presente protocolo fixou dois dos parâmetros: o ponto de contato, definido pela colocação das marcas na corda Sol, delimitando uma área de 1,3 cm (pouco maior que a largura da crina do arco); e a velocidade do arco, fixada pela obrigatoriedade de utilizar-se toda a extensão da crina do arco em cada nota, seguindo-se o metrônomo em 60 BPM, com dois tempos para cada arcada (velocidade aproximada de deslocamento do arco de 32 cm/seg). Quanto à terceira variável, a pressão exercida com o arco sobre a corda, a mais difícil de ser mensurada pelo executante (não há parâmetro objetivo para determinar ou descrever a pressão exercida), esta, restará condicionada pelos limites impostos pelas outras duas, a partir da instrução dada aos sujeitos para tocar o mais forte possível, mantendo uma sonoridade regular, dentro das condições estabelecidas. Para uma velocidade de arco constante, existe um limite de pressão mínima e máxima suportada em um dado ponto de

⁸ Golpe de arco (determinada forma de utilizar o arco na emissão sonora) básico: “Em princípio, requer um movimento contínuo, com o arco mudando de direção a cada nota (para baixo e para cima), sem qualquer tipo de interrupção, a não ser a causada pela própria mudança.” (BOSÍSIO; LAVIGNE, 1999, p. 19)

contato (fig. 6), para que a corda entre em vibração por meio de fricção (SCHELLENG, 1973 apud FLETCHER; ROSSING, 2012).

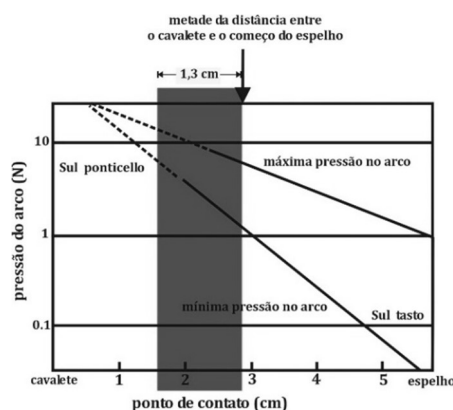


Figura 6 – Ponto de contato adotado para as amostras em relação ao diagrama de Schelleng. A faixa cinza, com a largura de 1,3 cm, representa a área do mesmo, tendo sido delimitada pelas duas marcas feitas na corda Sol. (fonte: adaptado de SCHELLENG, 1973 apud FLETCHER; ROSSING, 2012, p. 279)

Considerou-se, que, tendo sido fixadas as outras duas variáveis, a instrução para tocar o mais forte possível levaria ao uso da “pressão máxima possível” – nas condições especificadas, não variando essa significativamente.

3.5 Extensão analisada, formato das amostras e segmentação para análise

Cada amostra abarcou uma sequência cromática de uma oitava em cada corda do instrumento, com exceção da corda Mi, na qual a extensão foi ampliada em uma quinta além da oitava da corda (até o Si⁶⁹), alcançando a maior parte da extensão usual do instrumento. As amostras incluíram, portanto, 59 notas, 13 em cada uma das cordas Lá, Ré e Sol, mais 20 na corda Mi, compreendidas entre o Sol³ e o Si⁶, portanto, 41 frequências fundamentais distintas.

Para maior representatividade da sonoridade dos violinos estudados foi definida a repetição, em sequência, de cada nota, quatro vezes. Cada amostra foi reproduzida integralmente por três sujeitos diferentes, violinistas profissionais com formação acadêmica.

Cada amostra gerou um arquivo de áudio em formato WAV, de 7:54 minutos, com taxa de amostragem de 44.1 kHz e 16 bits de resolução, em formato estéreo, que contém no canal da esquerda o metrônomo a 60 BPM e no canal da direita o som do violino, seguindo a sequência de notas das cordas graves para as agudas, num total de 236 sons agrupados em repetições de 4 notas. Cada um dos três sujeitos registrou 24 amostras (um arquivo de áudio

⁹ Foi adotada no artigo a numeração de oitavas da escala geral americana, que atribui ao Dó central o número 4, em vez de 3, como no Brasil.

para cada uma das quatro condições de estudo com cada um dos seis violinos analisados), totalizando 72 arquivos. Cada nota foi repetida 12 vezes por violino, em cada uma das condições de estudo, considerando-se os três sujeitos, e 72 vezes, considerando-se os seis violinos, para cada uma das quatro condições de estudo. Ao todo, a pesquisa analisou 16.992 registros de notas de dois segundos de duração cada uma.

O processamento dos dados foi realizado utilizando-se a plataforma Matlab. Empregou-se um framework desenvolvido pelo CEGeME denominado EXPAN, junto a um script para o pré-processamento, criado especificamente para a pesquisa, adaptados para o software livre GNU Octave, versão 4.4.1. Os áudios foram processados utilizando-se o canal com o metrônomo para identificar automaticamente os inícios e fins de cada nota. Foi selecionada uma região de análise de um segundo em cada nota, considerando-se a parte de maior estabilidade espectral de cada som, definida como sendo o trecho contínuo, com um segundo de duração, de menor desvio padrão de fluxo espectral¹⁰ de toda a extensão da nota. Tal seleção tendeu a um recorte central das notas, já que o ataque e o decaimento de cada som, devido aos transientes, tende a ter menor estabilidade espectral do que a região central das gravações.

Foi calculada então a intensidade em RMS a partir da região de análise selecionada de cada nota. Optou-se pelo uso do RMS por ser o mesmo considerado mais representativo da maneira como o ouvido humano percebe a intensidade do som do que valores médios simples (DAVIS; JONES, 1990). No presente trabalho, a taxa de amostragem foi de 44.100 Hz, sendo utilizada uma janela de Hamming de 1024 amostras (23 milissegundos), com superposições de 256 (5,8 milissegundos) entre as amostras. Considerou-se o valor RMS de um sinal x definido por: $x_{RMS} = \sqrt{\left(\frac{1}{L} \sum_{k=1}^L x_k^2\right)}$, onde k é o número da amostra (instante de tempo) e L o tamanho da janela de cálculo da média, o qual determina a resolução temporal do envelope (LOUREIRO, 2006).

A partir desse valor, de cada registro, foi feita a média das quatro repetições de cada nota, depois a média entre todas as doze repetições tocadas pelos três sujeitos em cada violino, obtendo-se, assim, um valor médio de cada nota para cada violino, em cada uma das condições de estudo. Finalmente, foi feita a média entre os registros de cada nota de todos os instrumentos, ou, seja, calculada a partir das 72 repetições de cada som amostrado (as 12 repetições feitas pelos três sujeitos em cada um dos seis violinos estudados), que representa o efeito médio geral

¹⁰ O fluxo espectral define a quantidade de flutuação da energia espectral quadro a quadro no tempo. É calculado através da diferença de energia entre quadros FFT consecutivos (PARK, 2009).

do uso das surdinas em comparação com a condição “sem surdina”, na sequência de notas amostrada. Para calcular a intensidade média de cada instrumento foi feita a média de todas as amostras registradas em cada violino em cada uma das quatro condições de estudo, apresentando assim um valor único para cada condição de estudo em cada instrumento e, finalmente, a média de todos os registros da pesquisa nas quatro condições de estudo. Todos os cálculos foram efetuados com os valores RMS. Somente ao fazer a apresentação final dos resultados os valores de intensidade foram convertidos para decibel. Foi utilizado o dB FS (*decibel full scale*), que considera o 0 como valor máximo da escala, sendo, portanto, as intensidades representadas em valores negativos, segundo a fórmula $dB FS_x = 20 \log_{10} \left(\frac{x}{1} \right)$.

4 Apresentação dos resultados e discussão

Para uma primeira apresentação dos resultados optou-se pelas médias relativas aos efeitos das surdinas no conjunto dos seis instrumentos. Foi feita a média dos valores de intensidade, agrupando-os para cada interação entre sujeito, violino e surdina, resultando em 72 valores de média, e aplicou-se uma Análise de Variância (ANOVA) entre as médias de intensidade para cada condição (sem surdina e com as três diferentes surdinas); os resultados, $F(3,68) = 662,6$, $p < 0,001$, sugerem uma diferença significativa entre as quatro condições de estudo, como pode ser observado no gráfico 1. Já o mesmo teste, aplicado para agrupamentos por Sujeitos (gráfico 2) e por Violinos (gráfico 3), de forma a verificar a influência destes fatores nos resultados observados, falharam em demonstrar diferenças significativas entre os grupos (para os agrupamentos por violinos: $F(5,66) = 0,098$, $p > 0,05$; e para os agrupamentos por sujeitos: $F(2,69) = 0,018$, $p > 0,05$).

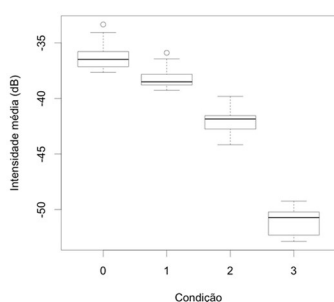


Gráfico 1 – 4 condições de estudo

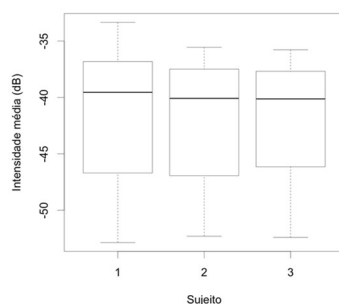


Gráfico 2 – média dos 3 sujeitos

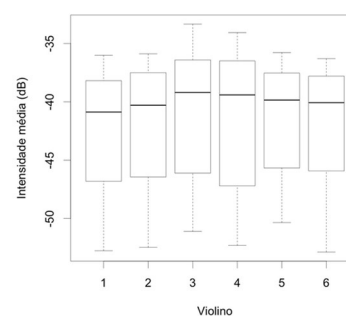


Gráfico 3 – média dos 6 violinos

Ao analisarmos a intensidade média dos instrumentos (gráfico 4), percebe-se que, em princípio, as surdinas comportaram-se dentro do esperado, de maneira bem regular nos seis

instrumentos, destacando-se a grande diferença de atenuação provocada pela surdina 3 (na média de todos os instrumentos -14,58 dB), em relação aos outros dois dispositivos, sobretudo à surdina 1, que provocou uma atenuação média bem reduzida, (-1,89 dB na média de todos os instrumentos) e a surdina 2 com efeito de atenuação um pouco mais intenso (-5,84 dB na média de todos os instrumentos), mas também longe do efeito da surdina 3.

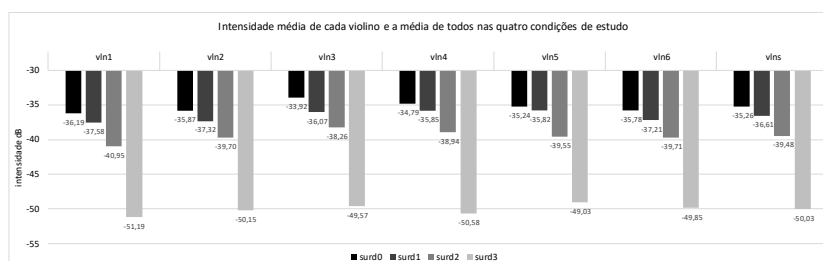


Gráfico 4 – Intensidade média dos violinos indicados pelos números (vln1, vln2, etc.), nas quatro condições de estudo e, também, a média total de todos os 6 instrumentos (vlns).

Ao se analisar, porém, o comportamento dos dispositivos ao longo da extensão dos instrumentos (gráficos 5 e 6) os resultados relativos à intensidade indicam um comportamento muito mais complexo das surdinas, nitidamente relacionado à altura dos sons. Observa-se também no gráfico 7, onde é apresentada a média de intensidade de todos os violinos por corda, o mesmo efeito. Enquanto a surdina 3 manteve uma atenuação média de forma bastante regular nas quatro cordas, as surdinas 1 e 2 foram aumentado seu efeito de atenuação nas médias das cordas graves para as agudas. Observando-se a diferença da ação desses dois dispositivos nas cordas Sol e Mi, fica evidente o efeito bastante distinto de atenuação ao longo da extensão do instrumento. O efeito parece estar relacionado diretamente à altura em si da nota, e não à diferença de sonoridade de uma corda para outra, como evidencia o comportamento similar de alturas iguais tocadas em cordas diferentes (vide gráficos 5 e 6).

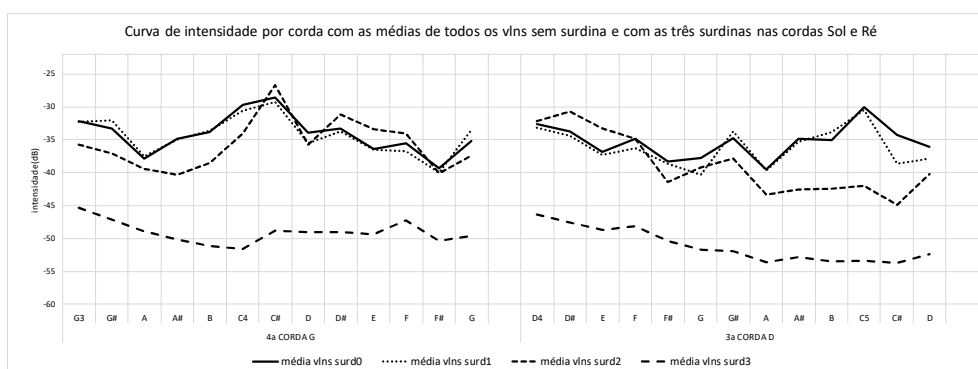


Gráfico 5 – Médias de todos os violinos (72 repetições de cada nota, tocadas pelos três sujeitos nos seis violinos)

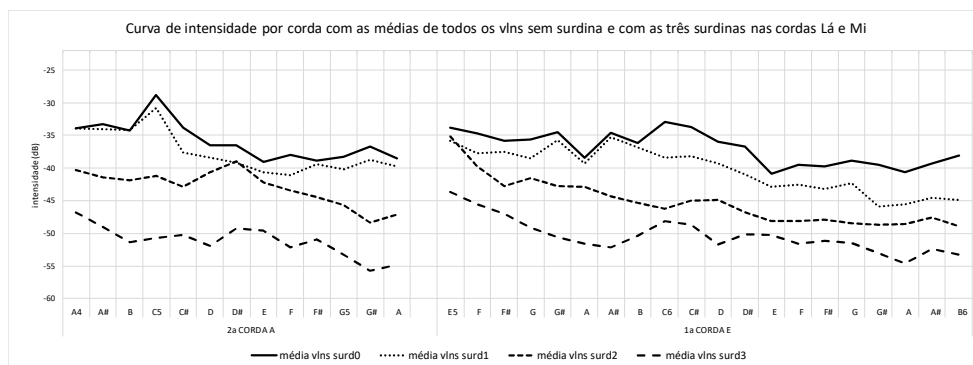


Gráfico 6 – Médias de todos os violinos (72 repetições de cada nota, tocadas pelos três sujeitos nos seis violinos)

Outra observação notável é o aumento da intensidade provocado em notas isoladas pelas surdinas 1 e, sobretudo, a 2, nas cordas Sol e Ré. Em todas as amostras dos seis violinos ocorreu tal fenômeno, com alguma variação das alturas afetadas, nos registros dos três executantes. Com o uso da surdina 2 o efeito foi praticamente constante no Dó#4 (corda Sol) e Ré#4, Mi4 e Fá4 (nas cordas Sol e Ré), como as médias gerais das notas indicam no gráfico 5.

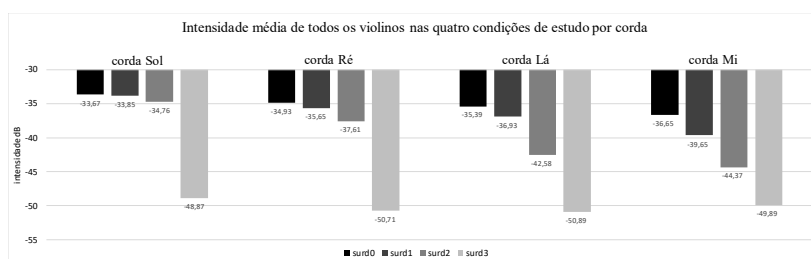


Gráfico 7 – Média de intensidade de todos os violinos, por corda nas quatro condições de estudo.

Embora o efeito de aumento da intensidade descrito deva ser considerado, em princípio, verificável apenas nas condições de execução em que ocorreu a amostragem, é surpreendente que não haja nenhuma menção a tal possibilidade em toda a literatura consultada sobre o assunto. As razões que levaram ao fenômeno não estão de todo claras, embora tudo indique que a própria surdina, em especial a 2 (de ébano), gere um modo de vibração próprio em determinadas frequências baixas, ocorrendo então algum tipo de acoplamento acústico entre o cavalete e a mesma. Ficou evidente, também, que a influência do peso dos dispositivos em seus efeitos, geralmente apontado como o fator preponderante, não se sustenta: com uma diferença de peso de quase 40 gramas, em várias amostras o efeito da surdina 2 foi quase similar ao da 3, como pode ser exemplificado pelo Dó6 e Mi6 na corda Mi do gráfico 6. Além disso a surdina 1, que tem quase um terço do peso da 2, produziu efeitos similares a essa em muitas alturas.

Os resultados indicam, objetivamente, que um maior cuidado com a escolha de surdinas é desejável para as performances, diante da possível diferença de ação das mesmas em regiões diferentes do instrumento e, também, com o uso de dispositivos distintos por músicos

de um mesmo conjunto, condições que podem dificultar a execução de passagens que abarquem uma grande extensão e a manutenção do equilíbrio do grupo.

Investigar como outros fatores, como tipo de acoplamento com o cavalete e material de confecção, interagem com o peso das surdinas para definir seus efeitos demanda novos estudos que estão sendo desenvolvidos em pesquisa de doutorado que tem, como proposta final, o desenvolvimento de protótipos baseados nos dados obtidos que apresentem comportamentos específicos definidos previamente para diferentes usos.

Referências:

BOSÍLIO, Paulo Gustavo; LAVIGNE, Marco Antônio. *Técnicas Fundamentais de Arco para Violino e Viola*. Rio de Janeiro: Apostila-Departamento de Piano e Instrumentos de Cordas, Instituto Villa-Lobos, Uni-Rio, 1999.

CREMER, Lothar. *The Physics of the Violin*, translated by JS Allen. Cambridge, MA, 1984.

DONOSO, José Pedro et al. A física do violino. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 30, n. 2, p. 2305.1-2305.21, 2008.

ELIE, Benjamin; GAUTIER, François; DAVID, Bertrand. Acoustic signature of violins based on bridge transfer mobility measurements. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 136, n. 3, p. 1385-1393, 2014.

FLETCHER, Neville H.; ROSSING, Thomas. *The physics of musical instruments*. Springer Science & Business Media, 2012.

GILTAY, J. W.; HAAS, M. de. On the motion of the bridge of the violin. In: *KNAW, Proceedings*. 1909. p. 1909-1910.

KISHI, Kenshi. Influence of the Weight of Mutes on Tones of a Violin Family. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 103, n. 5, p. 2916-2916, 1998.

LOUGHRIDGE, Deirdre. Muted violins from Lully to Haydn. *Early Music*, v. 44, n. 3, p. 427-447, 2016.

LOUREIRO, Mauricio Alves. A pesquisa empírica em expressividade musical: métodos e modelos de representação e extração de informação de conteúdo expressivo musical. *Opus*, v. 12, n. 1, p. 7-32, 2006.

PARK, Tae Hong. *Introduction to digital signal processing: Computer musically speaking*. World Scientific, 2009.

ROSSING, Thomas D.; MORRISON, Andrew. *The science of string instruments*. New York: Springer, 2010

SARCH, Kenneth. Con Sordino: The Art of the Mute. *American String Teacher*, v. 67, n. 4, p. 24-29, 2017.