

Estudo comparativo do efeito de três diferentes surdinas na LTAS de seis violinos

MODALIDADE: COMUNICAÇÃO

SUBÁREA: SONOLOGIA

Marcus Vinicius da Silva Evangelista
Universidade Federal de Minas Gerais – marcusvsev@gmail.com

Maurício Freire Garcia
Universidade Federal de Minas Gerais – mgarcia@ufmg.br

Davi Alves Mota
Universidade Federal de Minas Gerais – davi Alvesmota@gmail.com

Sérgio Freire
Universidade Federal de Minas Gerais – sfreire@musica.ufmg.br

Resumo: Artigo originado na pesquisa de mestrado “Estudo comparativo do efeito de três diferentes surdinas na sonoridade de seis violinos: alterações na intensidade e no espectro harmônico”, finalizada em 2019 na UFMG. Investigaram-se as alterações na sonoridade de seis violinos em quatro condições de estudo: sem surdina e com três diferentes surdinas. São descritas as surdinas e seu uso, a metodologia de amostragem e a aplicação, especificamente nesse artigo, da LTAS para análise espectral, apresentando nova metodologia, desenvolvida em doutorado que dá sequência ao mestrado. São apresentados os resultados das análises de LTAS, que se mostraram eficazes na diferenciação e caracterização espectral das quatro condições de estudo.

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

Comparative Study of the Effect of Three Different Mutes on the LTAS of Six Violins

Abstract: Article originated in the master's research "Comparative study of the effect of three different mutes on the sound of six violins: changes in intensity and harmonic spectrum", completed in 2019 at UFMG. Changes in the sound of six violins were investigated in four study conditions: without mute and with three different mutes. The mutes and their use, the sampling methodology and the application, of LTAS for spectral analysis are described, presenting a new methodology for it, developed in a doctorate that follows the master's degree. The results of the LTAS analyses are presented, which proved to be effective in differentiation and spectral characterization of the four study conditions.

Keywords: Mute. Violin. Timbre. Spectral analysis. LTAS.

1. Introdução

O mestrado que originou essa pesquisa, sob orientação do Prof. Dr. Maurício Freire Garcia e coorientação do Prof. Dr. Davi Alves Mota, analisou os efeitos de três diferentes surdinas na sonoridade de seis violinos quanto à alteração na intensidade sonora dos instrumentos e em seus espectros harmônicos (análise de espectros e uso de LTAS – *Long Term Average Spectrum*¹). Pesquisa exploratória acerca das características sonoras do violino,

tinha como objetivo inicial buscar parâmetros para a descrição objetiva do efeito das surdinas na sonoridade dos instrumentos, contribuindo assim para um uso mais consciente das mesmas por parte de instrumentistas, compositores e regentes. A compreensão do funcionamento e das particularidades dos efeitos das diferentes surdinas impacta diretamente na escolha de qual tipo de dispositivo melhor atende aos diferentes aspectos musicais (históricos, artísticos, técnicos, conceituais) impactados por elas, aperfeiçoando, assim, seu uso na prática e criação musical. A pesquisa continua em projeto de doutorado, sob orientação do Prof. Dr. Sérgio Freire, tendo como proposta o desenvolvimento de protótipos de surdinas baseados nos resultados das análises realizadas, para o que, numa primeira etapa, está sendo aperfeiçoada a utilização da LTAS, cuja descrição será apresentada neste artigo. Antes, serão descritas as surdinas para violino, contextualizando seu uso na prática musical, e informando a respeito da metodologia desenvolvida para a amostragem do som dos instrumentos em quatro condições de estudo (sem surdina e com três diferentes surdinas). Serão apresentados neste artigo os resultados da LTAS com a nova implementação adotada na pesquisa de doutorado.

2. As surdinas de violino

As surdinas de instrumentos de arco (figura 1) são dispositivos de formatos variados que podem ser acoplados às próprias cordas ou ao cavalete², entrando em contato com este último quando ativadas. São feitas de diferentes materiais (metais, madeira, borracha, outros materiais sintéticos e com combinações destes). Têm como efeito a alteração do timbre e da intensidade do som dos instrumentos. A função principal é a alteração do timbre, sendo a alteração da intensidade um efeito secundário. Apenas nas “surdinas de estudo” ou abafadores, o objetivo principal é a redução radical da intensidade, para que se pratique o instrumento com o mínimo de som possível.

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

São empregadas, também, nos outros instrumentos da família do violino (viola e violoncelo) e, menos comumente, no contrabaixo acústico. Sua utilização é bastante comum na música erudita, sobretudo orquestral, e, ainda que altere bastante a sonoridade dos instrumentos – individualmente ou em grupo, quando então produzem “atmosferas” bem

distintas da sonoridade típica das cordas, não é comum a busca por critérios de maior objetividade na escolha entre os diferentes tipos disponíveis no mercado especializado (SARCH, 2017). Há pouca pesquisa científica sobre surdinas. São citadas como suporte a pesquisas sobre outros assuntos, notadamente do cavalete (CREMER, 1984; FLETCHER; ROSSING, 2012; ELIE; GAUTIER; DAVID, 2014; GILTAY, HAAS, 1909), e pouco material além disso (JANSSON; SUNDBERG, 1975; KISHI, 1998; LOUGHRIDGE, 2016; SARCH, 2017).



Figura 1 – em cima, diversos tipos de surdinas para violino. Embaixo à esquerda surdina em posição de repouso e à direita a mesma surdina ativada, acoplada ao cavalete. (fonte: imagem própria)

Os primeiros registros de uso em instrumentos de corda datam do séc. XVII, sendo a primeira partitura conhecida a citá-las *Le triomphe de l'Amour* (1681, Jean-Baptiste Lully) (LOUGHRIDGE, 2016). Há poucas menções nos tratados de técnica instrumental, destacando-se “*Versuch einer gründlichen Violinschule*” (1756, Leopold Mozart), “*L'art du violon: nouvelle méthode dédiée à ses élèves*” (1834, Pierre Baillot) e “*The Art of the Violin Playing*” (1939, Carl Flesch). Em tratados de orquestração (Berlioz, Kennan e Grantham,

Koechlin, Piston) são citadas sucintamente entre os recursos dos naipes de cordas. É observado geralmente ser necessário algum tempo para colocá-las.

Não são comuns discussões coletivas quanto ao uso das surdinas nos conjuntos musicais. Normalmente os instrumentistas escolhem suas surdinas individualmente, sem uma definição conjunta por parte do grupo, o que padronizaria a alteração da sonoridade das cordas (possibilitando, eventualmente, maior controle e eficiência), não havendo maior preocupação quanto a qual tipo de surdina seria mais adequado a determinado repertório, ou formação, e, mesmo, ao ambiente onde se dará a apresentação.

3. Metodologia de pesquisa

3.1. Violinos e surdinas utilizados na pesquisa

Foram utilizados seis violinos na amostragem, buscando-se exemplos distintos da sonoridade do instrumento, definidos pelos materiais utilizados em sua construção e pela técnica de fabricação (industrial ou artesanal). Baseando-se em tais critérios, foram selecionados dois instrumentos considerados de baixa qualidade (industriais), dois de qualidade mediana (semiartesanais/indefinidos) e dois de qualidade profissional (artesanais).

As surdinas selecionadas (figura 2) buscaram, igualmente, variedade de tipos e uso:

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

Surdina 2: feita de ébano, em formato de garfo, com três dentes. Dentre as 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 pesquisa na posição central. Gera efeito forte, tanto em termos de alteração de intensidade como de timbre. Características: ébano, com 2,8cm x 3,2cm x 0,75cm e peso de 5,70 gramas;

Surdina 3: “surdina de estudo”/abafador, feita de metal cromado, com quatro dentes e uma só posição de encaixe, cobrindo toda a superfície do cavalete. Peso muito superior ao das outras duas surdinas analisadas, produz efeito nitidamente mais pronunciado, sendo utilizada, em princípio, apenas para prática em áreas sem isolamento acústico, como

apartamentos ou quartos de hotel. Características: metal cromado, com 5cm x 2cm x 1,1cm e 44,9 gramas de peso;



Figura 2 – em cima, da esquerda para a direita: surdina 1, surdina 2 e surdina 3, em tamanho real; embaixo, acopladas ao violino (fonte: imagem própria)

3.2. Protocolo de execução instrumental e gravação

Foram feitas duas marcas na corda Sol dos violinos, com largura de 1,3 cm entre elas, na direção do cavalete, a partir do meio da distância entre este e a extremidade do espelho³, delimitando o ponto de contato⁴ a ser seguido pelos violinistas. Foi utilizado um único arco, com feixe de crina de 65 cm de comprimento e 1,2 cm de largura. A vareta do arco foi marcada no meio da extensão da crina para sincronização do deslocamento do mesmo com o metrônomo.

As gravações foram feitas no laboratório do CEGeME (Centro de Estudos do Gesto e Expressão Musicais), na Escola de Música da UFMG. Utilizou-se um microfone condensador de padrão polar cardioide. Os participantes usaram um fone por meio do qual ouviam o metrônomo e uma trilha guia MIDI, com a sequência a ser tocada gravada utilizando-se o temperamento igual. Os executantes tocaram sentados, com o microfone sempre à mesma distância, sem vibrato, com *détaché*⁵, o mais forte possível (mantendo a qualidade do som), respeitando o ponto de contato delimitado na corda Sol, utilizando toda a extensão da crina do arco, com duas batidas de metrônomo a 60 BPM para cada nota (velocidade aproximada de deslocamento do arco de 32 cm/seg), sincronizando a segunda batida com a marca feita no meio do arco.

3.3. Critérios para a definição da execução instrumental

Considerou-se, para a execução, 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 (DONOSO et al., 2008; FLETCHER; ROSSING, 2012). O protocolo fixou dois dos parâmetros: o ponto de contato, definido pelas marcas na corda Sol, e a velocidade do arco, fixada pela utilização de toda a extensão da crina do arco com o metrônomo em 60 BPM. Quanto à terceira variável, a pressão exercida com o arco, a mais difícil de ser mensurada (não há parâmetro objetivo para descrever a mesma), esta, será condicionada pelos limites impostos pelas outras duas, a partir da instrução dada para tocar o mais forte possível, mantendo sonoridade regular, dentro das condições estabelecidas. Para uma velocidade de arco constante, há um limite de pressão mínima e máxima suportada em um dado ponto de contato (figura 3), para que a corda entre em vibração por meio de fricção (SCHELLENG, 1973 apud FLETCHER; ROSSING, 2012).

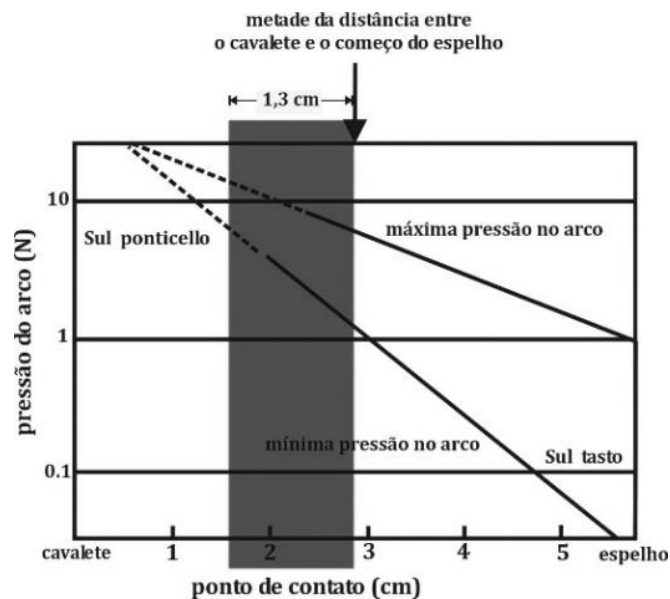


Figura 3 – Relação com diagrama de Schelleng: a faixa indica o ponto de contato adotado.

(Adaptado de SCHELLENG, 1973 apud FLETCHER; ROSSING, 2012, p. 279)

Considerou-se que, 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.

3.4 Extensão analisada e formato das amostras

Cada amostra abarcou uma sequência cromática de uma oitava em cada corda, com exceção da corda Mi, na qual a extensão foi ampliada até o Si⁶. As amostras incluíram, portanto, 59 notas, 13 em cada uma das cordas Lá, Ré e Sol, mais 20 na corda Mi, do Sol³ ao Si⁶, portanto, 41 frequências fundamentais distintas. Cada nota foi repetida, em sequência, quatro vezes. Cada amostra foi reproduzida por três sujeitos diferentes, violinistas profissionais com formação acadêmica.

Cada amostra gerou um arquivo de áudio, de 7:54 minutos, com taxa de amostragem de 44.1 kHz e 16 bits de resolução, em formato estéreo com o som do violino nos dois canais (para LTAS omitiu-se o metrônomo), seguindo a sequência de notas das cordas graves para as agudas, num total de 236 sons. Cada um dos três sujeitos registrou 24 amostras (uma para cada condição de estudo com cada um dos seis violinos), totalizando 72 arquivos. Cada nota foi repetida 12 vezes por violino, em cada condição de estudo, considerando-se os três sujeitos, e 72 vezes, considerando-se os seis violinos. Ao todo, a pesquisa analisou 16.992 notas de dois segundos de duração cada uma.

3.5 A LTAS

O Espectro Médio de Longo Termo, bastante conhecido por sua sigla em inglês LTAS (*Long Term Average Spectrum*) é uma ferramenta para a análise das características espectrais de registros sonoros capaz de fornecer uma visão geral dos mesmos, representando a energia espectral média de todo o sinal. Pode-se dizer que “[...]consiste na representação da intensidade em diferentes faixas de frequências, equivalente à média de uma série de espectros independentes de curto tempo, aplicados a uma emissão de suficiente duração” (CAMARGO, 2003 apud ESCAMEZ, 2015).

É uma ferramenta bastante utilizada em estudos fonéticos, contando também com aplicações na acústica musical. Tal abordagem mostra-se bastante adequada à presente pesquisa, dada a extensão amostrada, o número de instrumentos e as várias repetições de cada som em quatro condições de estudo, o que levou a uma grande quantidade de notas analisadas (JANSSON; SUNDBERG, 1975; CAMPBELL; GREATER, 1987).

Na pesquisa de mestrado foi utilizado o software PRAAT 6.0.49 para a implementação da LTAS, com largura de banda de 200Hz. Como a maioria das

implementações existentes, ela faz uso da transformada rápida de Fourier (*Fast Fourier Transform*, ou FFT, em inglês), que pode ser vista como um banco de filtros de largura de banda fixa, determinada pelo tamanho da janela em uso, porém com fator de qualidade variável (a capacidade de se separar frequências distintas aumenta gradativamente da região grave para a aguda). A análise perpassa todo o arquivo de áudio, calculando os espectros de cada segmento, antes de realizar a média geral. O resultado final é um gráfico com as frequências no eixo horizontal, e suas respectivas amplitudes no eixo vertical.

No presente estudo foi adotada uma nova implementação de LTAS, para MatLab, desenvolvida pelo *Institute of Sound Recording*, da Universidade de Surrey, Inglaterra⁷. Seus principais parâmetros são o tamanho da janela (número de amostras do áudio a ser analisada em cada passo, que deve ser uma potência de 2), e o tipo de suavização do espectro resultante, determinado em frações de uma oitava. Foi utilizada uma janela bastante grande, de 16384 pontos, que na frequência de amostragem de 44.100Hz nos dá uma resolução de 2,69Hz entre as frequências centrais de cada filtro. Isto permitiu isolar as contribuições de cada parcial mesmo nas notas mais graves do violino, cujo registro se inicia aos 196Hz. A suavização do espectro é feita pela aplicação de uma envoltória gaussiana a cada frequência calculada, com a largura de banda determinada pela fração de oitava escolhida. Foi definido usar 1/24, já que assim cada frequência da escala temperada (1/12 de oitava) pode apresentar um pico espectral, com um possível vale entre elas. Os espectros não foram normalizados, já que a comparação pretendida envolve também aspectos de intensidade sonora, com as amplitudes expressas em dB.

5. Resultados e discussão

Optou-se pela apresentação das médias das LTAS de todos os registros sonoros da pesquisa, assim obtidas: as amostras de cada executante, com o mesmo instrumento e mesma condição de estudo, foram editadas em sequência em um mesmo arquivo de áudio, a ser processado no Matlab. Em seguida, foi feita a média desses valores, agrupando os dados dos seis violinos por condição de estudo, chegando-se a um valor único de LTAS para cada uma das quatro condições de estudo.

Os resultados são aqui apresentados em seis gráficos. Os três primeiros abarcam a extensão das fundamentais analisadas: Sol3-Sol4 (gráfico 1), Sol4-Sol5 (gráfico 2); Sol5-Si6 (gráfico 3). Nos próximos dois, as frequências (1900 a 10600Hz) continuam associadas às notas da escala temperada, embora representem apenas a energia de harmônicos: Si6-Si7

(gráfico 4) e Si7-E9 (gráfico 5). O último gráfico mostra as curvas das diferenças entre as leituras LTAS das outras condições de estudo em relação à condição sem surdina, delineando uma representação da ação das três surdinas como filtros acústicos (gráfico 6).

Os resultados demonstraram a capacidade da LTAS de diferenciar as condições de estudo detalhadamente. Os efeitos principais podem ser observados dos 196Hz até 11000Hz, altura a partir da qual as curvas das quatro condições de estudo se aproximam bastante, indicando que as surdinas passam a alterar pouco a composição espectral do som dos instrumentos (gráficos 5 e 6).

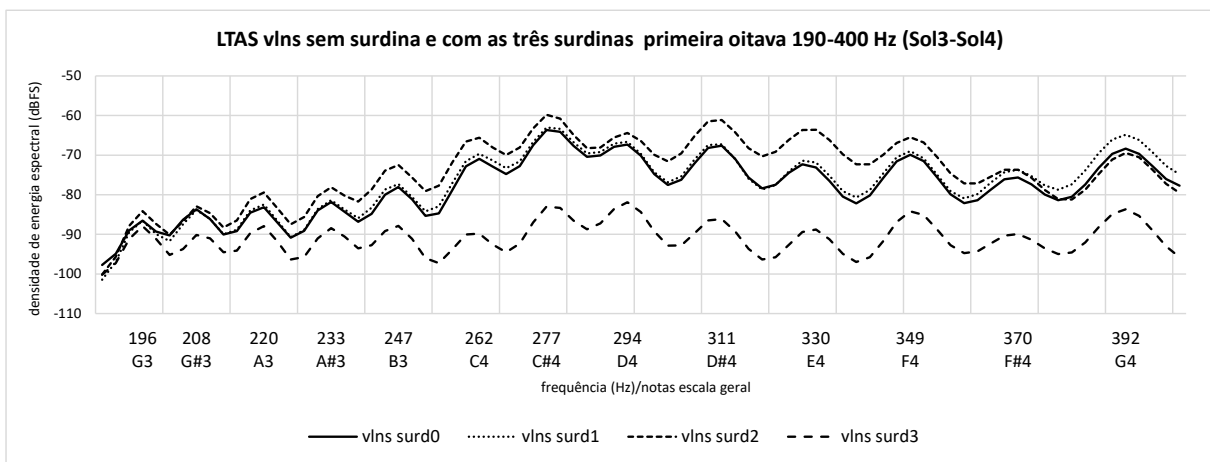


Gráfico 1 – LTAS dos 6 violinos nas 4 condições de estudo, fundamentais da primeira oitava: 190-400Hz

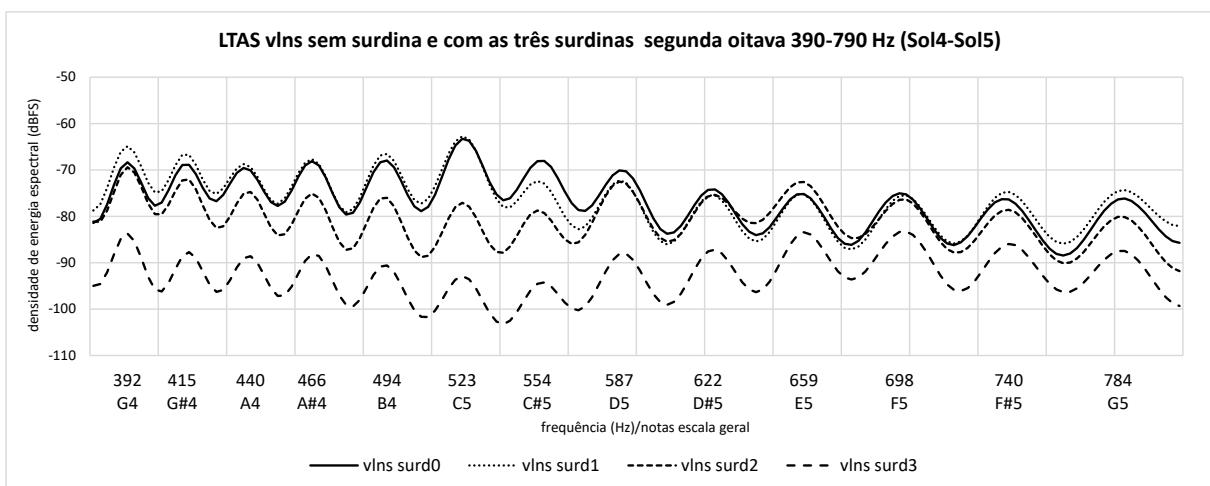


Gráfico 2 – LTAS dos 6 violinos nas 4 condições de estudo, fundamentais da segunda oitava: 390-790Hz

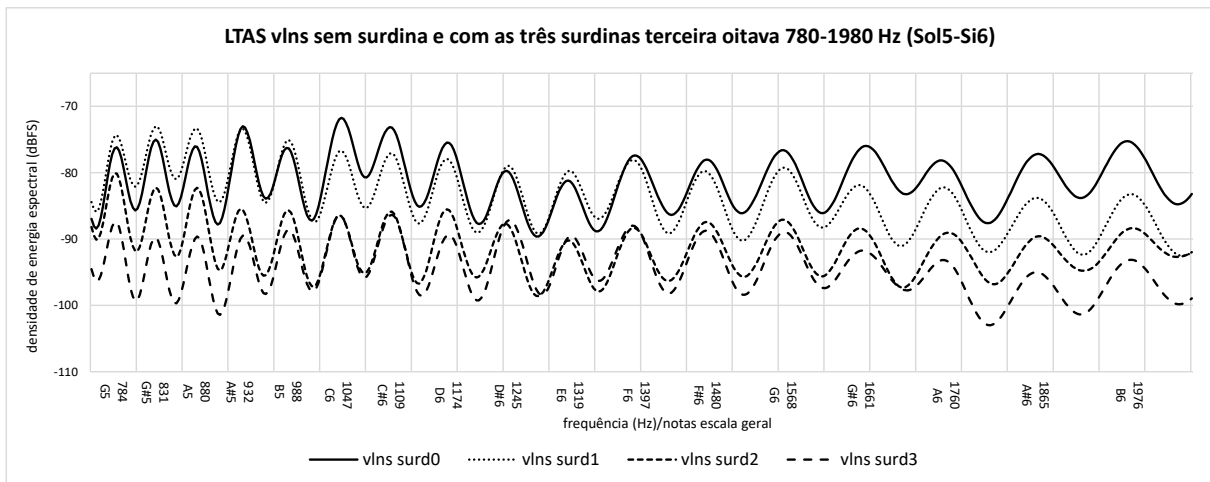


Gráfico 3 – LTAS dos 6 violinos nas 4 condições de estudo, fundamentais da terceira oitava e começo da quarta: 780-1980Hz

Observa-se que o uso das surdinas gerou LTAS bem distintas entre si, possibilitando, assim, relacionar seu efeito na sonoridade dos violinos às respectivas curvas. A surdina 1 tem como característica principal um efeito suave na sonoridade, seja na intensidade⁸ ou no timbre, condizente com os gráficos 1, 2 e 3: até o Sol4 praticamente não gera alteração em relação à condição sem surdina, ocorrem oscilações até por volta do Fá6, e, só então, apresenta tendência de queda contínua de energia até por volta dos 9400Hz, quando então reduz sua ação.

A LTAS da surdina 2, que produz alterações bem mais significativas no som dos instrumentos, reflete essa característica. Dos três dispositivos é o de comportamento mais complexo. Chama a atenção que na primeira oitava tenha provocado um aumento significativo na LTAS, principalmente no D#4 e E4 (gráfico 1). Essa surdina, inclusive, gerou, surpreendentemente, aumento da intensidade do som na média dos instrumentos nesse mesmo registro⁹. Ora sua leitura se aproxima da surdina 1 (gráfico 2), ora da surdina 3 (gráfico 3).

A surdina 3 mostrou-se a mais regular, com pouca variação de seu efeito ao longo da extensão analisada, mantendo uma curva de alteração muito significativa, proporcional ao efeito que produz, extremamente acentuado, tanto em relação à atenuação quanto à alteração do timbre. Apenas no início da extensão analisada sua curva é pouco abaixo da condição sem

surdina, havendo uma única região, na faixa de aproximadamente 12200/13400, onde a energia da sua LTAS é maior do que a da sem surdina (gráfico 6).

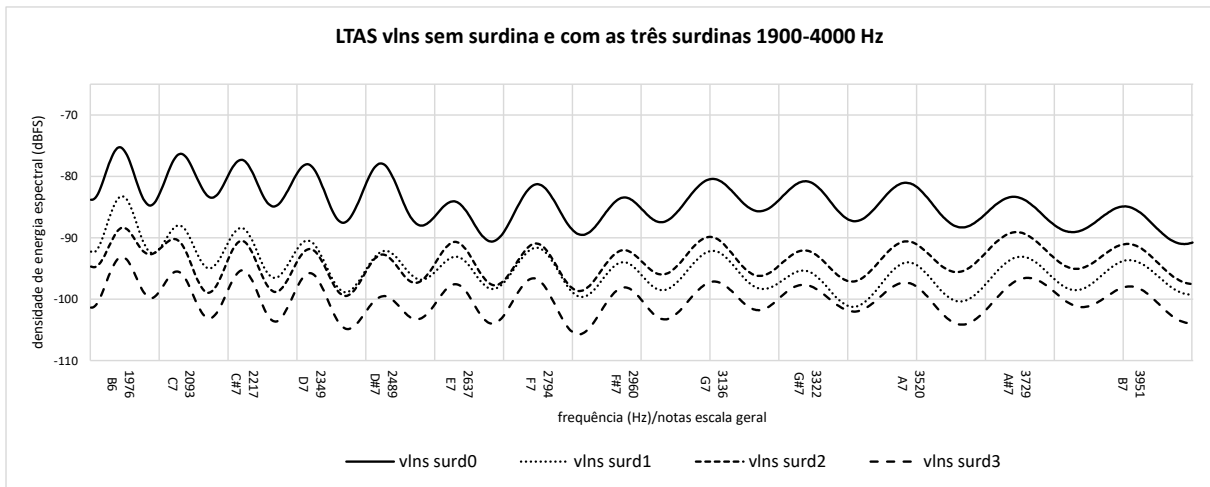


Gráfico 4 – LTAS dos 6 violinos nas 4 condições de estudo, de 1900-4000Hz

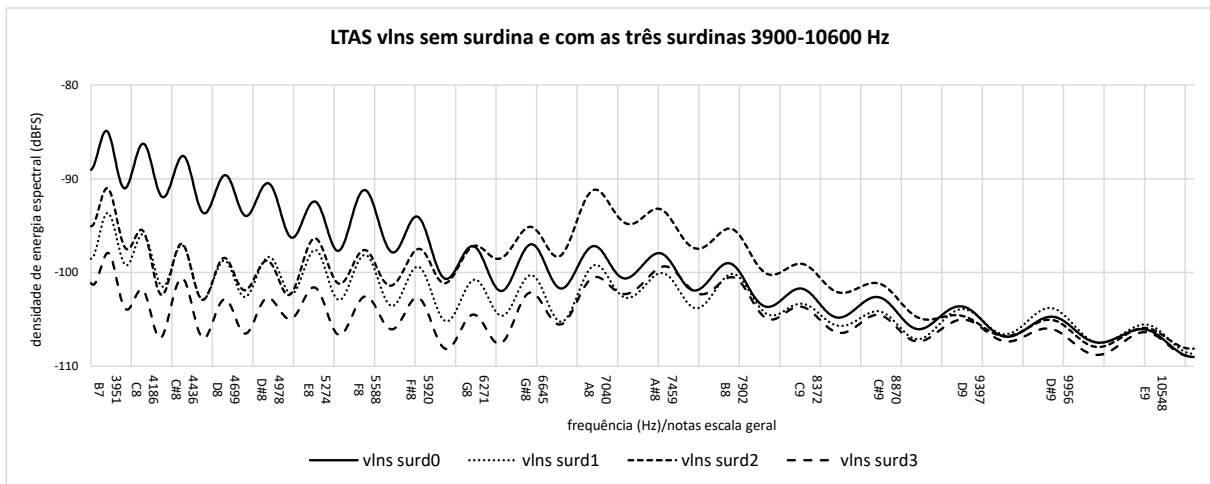


Gráfico 5 – LTAS dos 6 violinos nas 4 condições de estudo, de 3600-10600Hz

Observando-se o gráfico 6, distingue-se uma faixa delimitada inferiormente pela curva da surdina 3 e superiormente pelas curvas ora da surdina 1 ora da 2, até por volta dos 6000Hz (onde a curva da surdina 2 afasta-se das demais), que indica, não obstante as particularidades de cada uma, atuação similar dos três dispositivos nessa faixa de frequência (1300/6000Hz) provocando forte perda de energia. Pode-se relacionar uma parte considerável dessa faixa ao Bridge Hill, um pico largo de frequências em torno a 2500 Hz, ligado à

mobilidade lateral do cavalete (ROSSING; MORRISON, 2010; WOODHOUSE, 2005). As surdinas seriam então responsáveis por achatar este pico de ressonância.

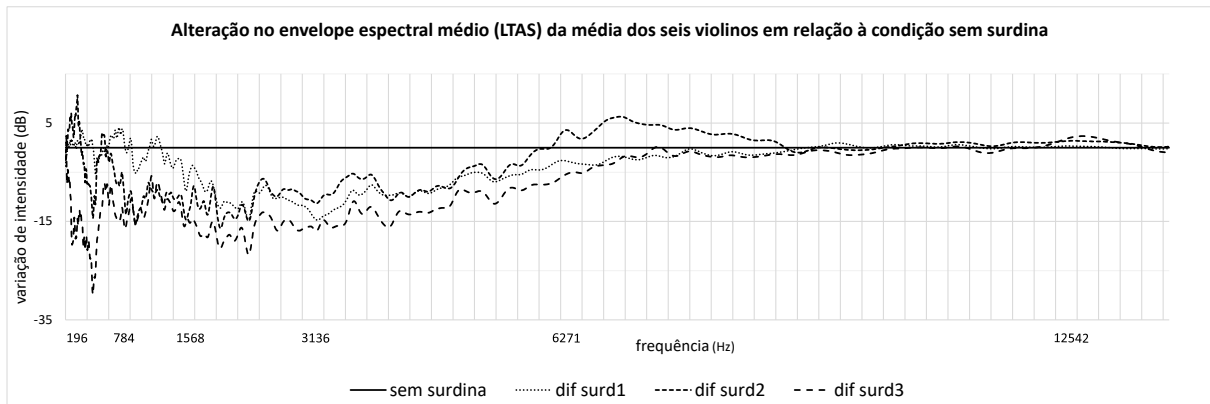


Gráfico 6 – resposta como filtro acústico das três surdinas: diferença da LTAS de cada uma em relação à da condição sem surdina

A variada distribuição das alterações da energia ao longo do espectro, gerada diferentemente por cada dispositivo, pode ser relacionada às inúmeras nuances produzidas na sonoridade dos instrumentos, inclusive, com efeitos bem diferentes em um mesmo instrumento, dependendo do registro em que se toque. Tais especificidades, inclusive, sugerem que a associação do peso das mesmas à transferência de energia espectral para as baixas frequências (CREMER, 1984; ELIE; GAUTIER; DAVID, 2014; FLETCHER; ROSSING, 2012; JANSSON; SUNDBERG, 1975; KISHI, 1998) é insuficiente para explicar todas as alterações nas LTAS. À parte eventual aumento de energia em frequências graves com o uso das surdinas 1 e 2, considerando-se toda a extensão do espectro, há grande perda de energia provocada pelos três dispositivos. Com a pesada surdina 3 (44,9g) não ocorre transferência de energia para baixas frequências, o que sugere um limite de peso para esse efeito. Também a surdina 1, cuja ação é mais significativa acima dos 1400Hz, e que, a partir dos 2000Hz, produz efeito próximo ou mais forte do que a surdina 2 (gráficos 4 e 5) surpreende ao se considerar a grande diferença de peso entre elas (a 2 é quase três vezes mais pesada). Da mesma forma, a variabilidade da ação da surdina 2 ao longo da extensão analisada, que gera aumento significativo de energia na região da primeira oitava tanto quanto na faixa 6200-9400Hz (única a apresentar tal comportamento nessa altura, contrariando a ideia geral de transferência de energia para as frequências baixas) sugere influência significativa das outras características físicas dos dispositivos em seus efeitos.

A continuidade da pesquisa, utilizando a LTAS como ferramenta de análise consolidada demanda, portanto, o desenvolvimento de metodologia que possibilite isolar a ação de cada característica física das surdinas, como, por exemplo, analisar dispositivos similares (feitos com mesmo material) que variem o peso, ou a utilização de uma mesma surdina em diferentes acoplamentos com o cavalete.

Referências

- CAMPBELL, Murray; GREATED, Clive. *The musician's guide to acoustics*. OUP Oxford, 1987.
- CREMER, Lothar. *The Physics of the Violin*, translated by JS Allen. Cambridge, MA, 1984.
- DA SILVA EVANGELISTA, Marcus Vinicius. *Estudo comparativo do efeito de três diferentes surdinas na sonoridade de seis violinos: alterações na intensidade e no espectro harmônico*. Belo Horizonte, 2019. 195 f. Dissertação (Mestrado em Música). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.
- 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.
- ESCAMEZ, Natalia Eugênia Sanchez et al. *Cantoras eruditas e populares: comparação de características vocais na canção Melodia Sentimental de Villa-Lobos*. 2015. 75 f. Dissertação (Mestrado em Fonoaudiologia). Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2015.
- 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.
- JANSSON, E. V.; SUNDBERG, Johan. Long-time-average-spectra applied to analysis of music. Part I: Method and general applications. *Acta Acustica united with Acustica*, v. 34, n. 1, p. 15-19, 1975.
- 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.
- 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.
- WOODHOUSE, Jim. On the “bridge hill” of the violin. *Acta acustica united with acustica*, v. 91, n. 1, p. 155-165, 2005.

Notas

¹ “Espectro Médio de Longo Termo” (tradução nossa), descrita na seção 3.5. Apesar da tradução literal no masculino, a sigla LTAS será descrita no feminino devido à sua natureza de média dos espectros.

² Peça feita de madeira onde as cordas se apoiam ao serem tensionadas, permitindo a vibração das mesmas.

³ Peça que se projeta além do braço, sobre a caixa de ressonância, sobre a qual o instrumentista pressiona as cordas com os dedos.

⁴ Ponto em que a crina do arco toca a corda.

⁵ Golpe de arco básico: movimento contínuo, com o arco mudando de direção a cada nota, sem qualquer interrupção, a não ser a própria mudança.

⁶ 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.

⁷ Disponível em: <<https://github.com/loSR-Surrey/MatlabToolbox>> acesso em: 29/04/2020.

⁸ Para informação a respeito da variação de intensidade vide a dissertação: “Estudo comparativo do efeito de três diferentes surdinas na sonoridade de seis violinos: alterações na intensidade e no espectro harmônico” (DA SILVA EVANGELISTA, 2019).

⁹ O que provocou o aumento de intensidade do som dos instrumentos em determinadas notas com o uso da surdina 2 (feita de ébano) ainda não está claro, embora, tudo indique que a própria surdina gere modos de vibração próprios em faixas de frequências específicas, ocorrendo, então, alguma forma de acoplamento acústico entre o cavalete e a mesma.