

Emprego de síntese por modelagem espectral para análise comparativa do residual não harmônico na sonoridade do violino com o uso de diferentes surdinas

MODALIDADE: COMUNICAÇÃO

SUBÁREA: SONOLOGIA

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

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

Resumo: Artigo originado em pesquisa de doutorado que investiga as surdinas de violino. Empregou-se SMS (spectral modeling synthesis) para extração do residual não harmônico de amostras de áudio de violino sob o efeito de diferentes tipos de surdinas, comparando-se o percentual de participação do valor RMS do mesmo no RMS total dos áudios, nas diferentes condições de estudo. Descrevem-se as surdinas, a metodologia de amostragem e aplicação do SMS. São apresentadas as análises comparativas dos residuais, que se mostraram eficazes na diferenciação e caracterização do uso das diferentes surdinas, sugerindo influência do material de fabricação das surdinas na intensidade dos residuais não harmônicos registrados.

Palavras-chave: Surdina. Violino. Timbre. Residual não harmônico. Síntese por modelagem Espectral.

Use of spectral modeling synthesis for comparative analysis of the non-harmonic residual in the sound of the violin using different mutes

Abstract: Article originated in a doctorate that investigates violin mutes. SMS (spectral modeling synthesis) is employed to extract the non-harmonic residual of violin audio samples under the effect of different mutes, comparing the percentage of participation of its RMS values in the full RMS of the audios, under the distinct conditions of the study. The mutes, sampling methodology, and SMS application are described. Comparative analyses of the residuals are presented, which proved to be effective in differentiating and characterizing the use of different mutes, suggesting the influence of the fabrication material of the mutes on the intensity of the registered non-harmonic residuals.

Keywords: Mute. Violin. Timbre. Residual non-harmonic. Spectral modeling synthesis.

1. Introdução

Em desenvolvimento desde 2019 no Programa de Pós-Graduação da Escola de Música da UFMG, a pesquisa de doutorado que originou o presente artigo tem como objetivo desenvolver protótipos de surdinas baseados em análises de dados acústicos objetivos extraídos de registros da sonoridade do violino sob efeito de diferentes tipos de surdinas. Dando sequência a mestrado desenvolvido na mesma instituição de 2017 a 2019 (DA SILVA EVANGELISTA, 2019), a pesquisa exploratória acerca das alterações geradas nas

características sonoras do violino, a partir do uso desses dispositivos, tem como um de seus focos entender de que maneira as diferentes características físicas das surdinas influenciam em seus efeitos. Tal informação será de grande importância no desenvolvimento de protótipos de surdinas que possam ter seus efeitos previamente direcionados.

Tendo sido investigadas em trabalhos anteriores as alterações provocadas na intensidade e as alterações produzidas no espectro harmônico da sonoridade do violino, seja pela análise de espectros de notas isoladas ou com o emprego da LTAS (DA SILVA EVANGELISTA, 2019; DA SILVA EVANGELISTA, 2020; DA SILVA EVANGELISTA et al., 2020) o presente estudo procura avaliar o impacto do uso das surdinas nos aspectos não harmônicos da sonoridade do violino, tendo em vista a natureza multidimensional do timbre. Para tanto a SMS (*Spectral Modeling Synthesis*, ou Síntese por Modelagem Espectral, em português) forneceu a possibilidade de se separar a porção harmônica (determinística) das amostras de áudio da porção não harmônica (estocástica) e, a partir daí, por meio de análises comparativas, evidenciar-se os efeitos dos diversos tipos de surdina no residual não harmônico.

De maneira geral, a melhor compreensão dos efeitos distintos produzidos por diferentes tipos de surdinas, e sua caracterização por meio de descritores objetivos, abre novas possibilidades para a utilização artística das surdinas, permitindo uma escolha muito mais consciente por parte dos intérpretes, e mesmo novas propostas de utilização por compositores que explorem de maneira deliberada os diferentes efeitos possíveis com o uso de dispositivos variados. A pesquisa contribui diretamente para que questões de natureza histórica, estética e técnica possam ser beneficiadas pelo aprimoramento do conhecimento acerca das surdinas, além de acrescentar novas informações no campo do funcionamento acústico do violino e congêneres e da descrição de sua sonoridade.

2. As surdinas de violino e seu impacto no timbre do instrumento

Dispositivos de formatos variados, que podem ser acoplados às cordas ou ao cavalete¹, as surdinas de violino (Figura 1), também utilizadas nos demais instrumentos de arco, podem ser feitas de diferentes materiais (metais, madeira, borracha, materiais sintéticos ou com combinações destes). Produzem alterações no timbre e na intensidade do som dos instrumentos. Considera-se sua função principal a alteração do timbre, sendo a diminuição da intensidade um efeito secundário, com exceção das “surdinas de estudo” ou abafadores, cujo objetivo principal é a maior redução possível da intensidade do som dos instrumentos, para

que se possa praticá-los em circunstâncias em que se deseje reduzir sua intensidade ao mínimo.

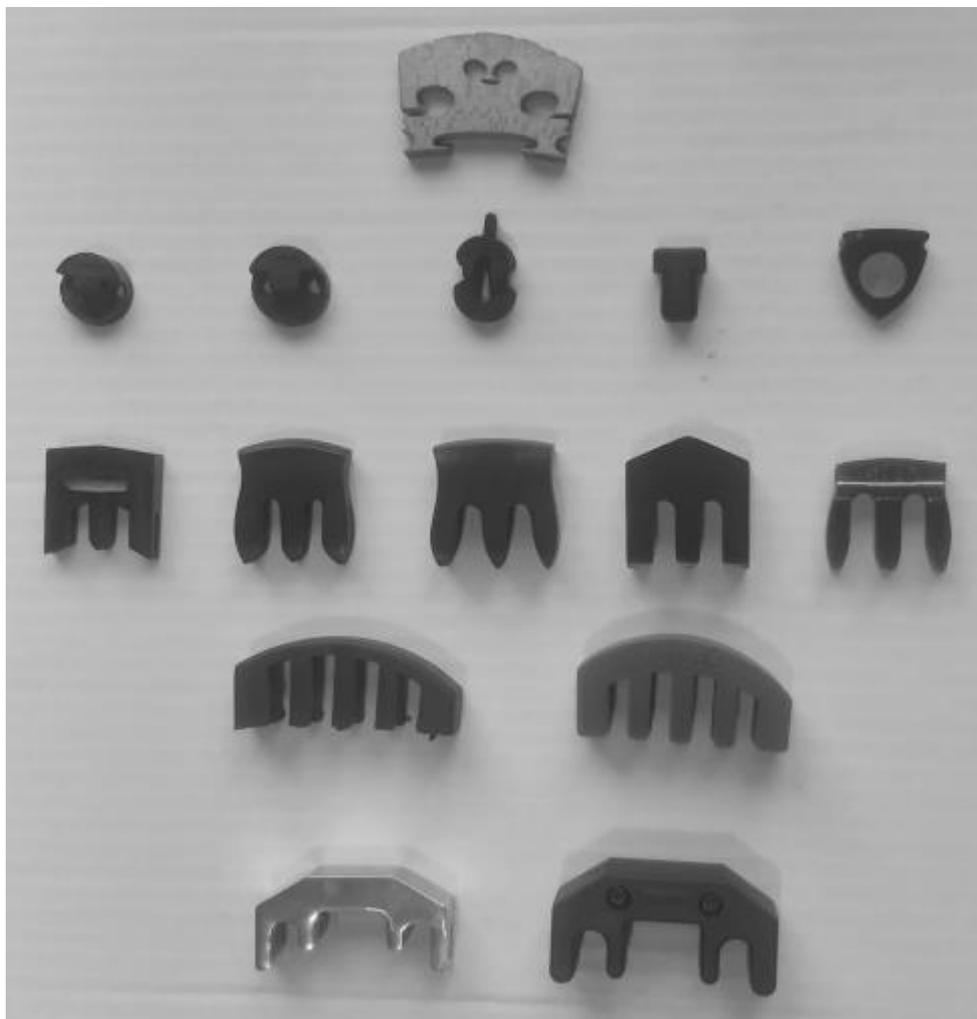


Figura 1 – Diversos tipos de surdinas para violino do acervo da pesquisa, com um cavalete do instrumento junto para dimensionamento do tamanho dos dispositivos. (fonte: imagem própria)

O funcionamento das surdinas é baseado nas alterações que provocam no comportamento vibracional do cavalete, peça essencial na composição do timbre dos instrumentos de arco (CREMER, 1984; DONOSO et al., 2008; ROSSING; MORRISON, 2010; FLETCHER; ROSSING, 2012). A variedade dos efeitos que produzem está relacionada às suas características físicas, como massa, rigidez, formato, mecanismo e área de contato com o cavalete. Pouco pesquisadas cientificamente, há citações sobre as mesmas sobretudo como suporte a estudos acerca de outras áreas, principalmente, do cavalete (GILTAY, HAAS, 1909; CREMER, 1984; FLETCHER; ROSSING, 2012; ELIE; GAUTIER; DAVID, 2014), e

pouca informação além disso (JANSSON; SUNDBERG, 1975; KISHI, 1998; TAJIMI et al., 2011; LOUGHRIDGE, 2016; SARCH, 2017).

Embora tenham um amplo emprego na música de concerto, sobretudo orquestral, recebendo menções sucintas em manuais de orquestração e tratados de violino (DA SILVA EVANGELISTA et al., 2020) não há maior preocupação com uma escolha mais objetiva, diante dos diferentes tipos de surdinas disponíveis (SARCH, 2017), sendo comum que os instrumentistas definam sozinhos suas surdinas, sem deliberações coletivas acerca do repertório a ser executado, do tipo de formação instrumental ou do espaço destinado à apresentação.

Ainda que haja evidências de que sua função original (primeiros registros no séc. XVII)² fosse, justamente, a redução da intensidade dos instrumentos (LOUGHRIDGE, 2016), o dispositivo se estabeleceu na tradição de instrumentação ocidental como um recurso de variação de timbre dos instrumentos, sobretudo dos naipes de cordas em conjuntos orquestrais.

Nos estudos já realizados com a amostragem coletada no mestrado, que originou o presente doutorado, foram avaliados os efeitos do uso de três diferentes surdinas na sonoridade de seis violinos em relação à alteração na intensidade do som e em relação à alteração da distribuição da energia espectral das amostras, por meio da comparação de espectros isolados e médias de espectros e com o emprego da LTAS³, essas últimas, relacionadas diretamente aos componentes harmônicos da sonoridade do violino. A natureza multidimensional do timbre e sua caracterização, porém, não são completamente abarcadas apenas pela descrição harmônica:

De fato, o conceito de timbre tem sido sempre relacionado com sons de instrumentos musicais ou de voz e é neste âmbito que a maioria das pesquisas em timbre têm se desenvolvido (RISSET, 1965; GREY, 1975; GORDON e GREY, 1978; GREY, 1978; MCADAMS e BREGMAN, 1979; WESSEL, 1979; RISSET, 1991). Estes trabalhos identificaram inúmeros fatores que formam o que podemos chamar de percepção do timbre, tais como: o volume do som (intensidade percebida); o envelope de amplitude (evolução da intensidade global), cuja parte inicial (ataque) pode assumir especial importância na discriminação do timbre de um instrumento musical dependendo da duração do som; flutuações de alturas e intensidades devido a vibratos ou trêmolos; estruturas dos formantes, que assumem maior importância na percepção de sons vocais; distribuição espectral (amplitudes das frequências dos componentes espectrais); evolução temporal da distribuição espectral. Devido à característica multidimensional deste atributo, a identificação da contribuição de cada um destes fatores concorrentes tem sido a principal questão levantada por pesquisas psicoacústicas sobre a percepção do timbre, que vêm se desenvolvendo desde o início do século. (LOUREIRO; PAULA, 2006, p. 58)

Além desses fatores, os componentes não harmônicos, relacionados aos transientes, mas não se restringindo aos mesmos, constituem outro aspecto fundamental para a percepção do timbre. Elementos como o som do ar em vários instrumentos de sopro, notadamente a flauta, ou o ruído de “raspado” da crina do arco na corda, nos instrumentos de cordas friccionadas, permanecem, em maior ou menor medida, após o ataque inicial e são percebidos auditivamente como componentes relevantes do seu timbre, essenciais, por exemplo, na modelagem sonora que pretenda reproduzir com maior fidelidade o som de tais instrumentos. (BONADA et al, 2011)

Nessa perspectiva, para se obter uma melhor compreensão da natureza das alterações produzidas na sonoridade do violino pelo uso de surdinas, é necessário considerar-se, também, seu impacto nos elementos não harmônicos que compõem o todo da sonoridade do instrumento.

3. Metodologia de pesquisa

3.1. Surdinas utilizadas na pesquisa

As surdinas selecionadas⁴ para o presente estudo buscaram variedade de tipos e uso, sendo duas de performance (Figura 2):



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

Surdina 1: de formato circular, com dente único para fixação no cavalete, pode ser utilizada em três posições, sendo adotada na pesquisa a posição central (nas cordas Lá e Ré do violino). 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: em formato de garfo, com três dentes. Pode ser acoplada em três posições, utilizada na pesquisa na posição central (nas cordas Lá e Ré do violino). Características: ébano, com 2,8cm x 3,2cm x 0,75cm e peso de 5,70 gramas;

E quatro abafadores, “surdinas de estudo” (Figura 3):

Surdina 3A: com cinco dentes e uma só posição de encaixe, cobrindo toda a superfície do cavalete e parte das laterais. Características: borracha semiflexível, com 5,5cm x 2,2cm x 1,1cm e 7,56 gramas de peso;

Surdina 3B: com cinco dentes e uma só posição de encaixe, cobrindo toda a superfície do cavalete e parte das laterais. Características: borracha rígida, com 5,3cm x 2,5cm x 1,4cm e 13,50 gramas de peso;

Surdina 3C: com quatro dentes e uma só posição de encaixe, cobrindo toda a superfície do cavalete. Características: metal cromado, com 5cm x 2,5cm x 1,2cm e 44,9 gramas de peso;

Surdina 3D: com quatro dentes e uma só posição de encaixe, cobrindo toda a superfície do cavalete. Características: metal revestido de borracha, com 5,5cm x 2,8cm x 1,7cm e 58,65 gramas de peso;

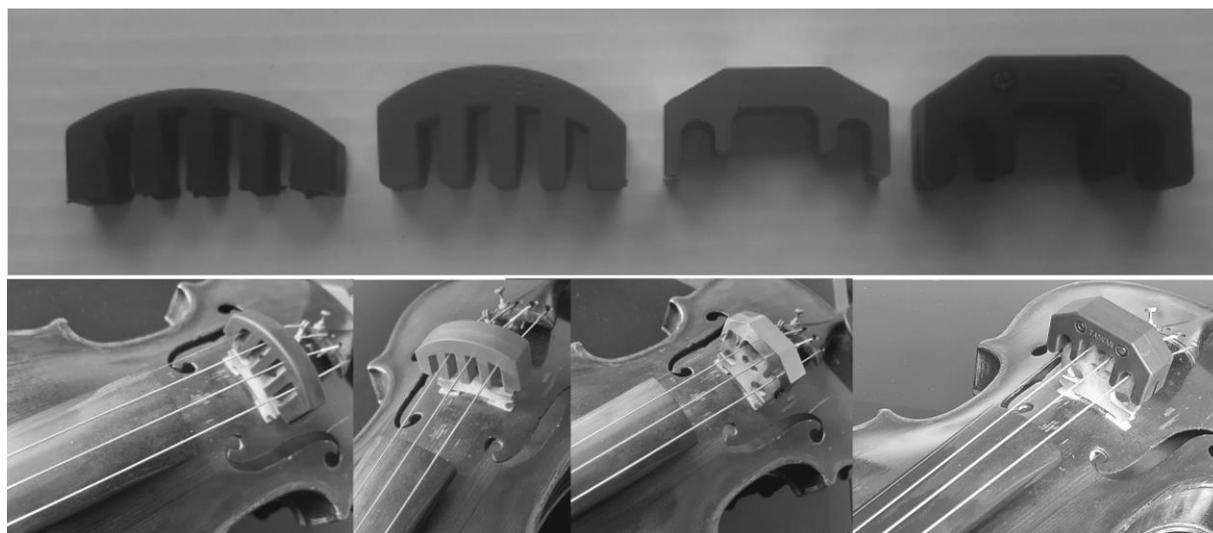


Figura 3 – Em cima, da esquerda para a direita, os abafadores: surdina 3A, surdina 3B, surdina 3C e surdina 3D; embaixo, acoplados ao violino. (fonte: imagem própria)

3.2 Amostras para análise

Em continuidade à pesquisa original de mestrado foi desenvolvido para o presente estudo, visando maior agilidade nas gravações, um novo modelo de amostragem, embora sejam utilizados também os áudios da pesquisa de mestrado⁵, para efeito de comparação com o novo método. A nova amostragem incluiu, também, mais três tipos de surdinas, além das utilizadas na pesquisa de mestrado. O novo modelo substituiu a amostragem de notas cromáticas repetidas por glissandos contínuos em cada corda, preservando a mesma extensão. Assim, cada amostra abarcou uma sequência de 8 glissandos por corda, com quatro segundos de duração cada, ascendentes e descendentes alternadamente, a partir da corda solta até a oitava da mesma, com exceção da corda Mi, na qual a extensão foi ampliada até o Si⁶ alcançando, portanto, uma 12ª. As amostras incluíram, assim, 32 glissandos, abarcando do Sol³ ao Si⁶, distribuídos igualmente pelas quatro cordas, das graves para as agudas.

As gravações foram feitas em um mesmo ambiente, por um único violinista, membro da equipe de pesquisa. Foi utilizado um único arco, com feixe de crina de 65 cm de comprimento e 1,2 cm de largura, sendo passada resina ao longo de toda a extensão da crina quatro vezes, em sentidos alternados, antes da gravação de cada amostra. O executante tocou sentado, com um microfone condensador, de padrão polar cardioide, sempre posicionado da mesma forma, à mesma altura e distância (60 cm), apontado aproximadamente para o cavalete do instrumento, sem vibrato, com *détaché*⁷, o mais forte possível (mantendo a qualidade do som), em um ponto de contato, o mais estável possível, a meio da distância entre o cavalete e o começo do espelho⁸, utilizando toda a extensão da crina do arco, com quatro batidas de metrônomo a 60 BPM para cada glissando (velocidade aproximada de deslocamento do arco de 16 cm/seg.), procurando manter a velocidade de deslocamento do arco o mais regular possível⁹.

As amostras, em cada condição de estudo, foram reproduzidas duas vezes em dois violinos que foram utilizados nas gravações do mestrado.

Cada amostra gerou um arquivo de áudio, de 2:08 minutos, com taxa de amostragem de 48 kHz e 24 bits de profundidade, em formato mono. Para o presente estudo foram coletadas 28 amostras em sete condições de estudo: sem surdina e com seis diferentes tipos de surdinas.

3.3 SMS e análise comparativa dos percentuais de participação do residual não harmônico em relação ao áudio original

A Síntese por Modelagem Espectral (conhecida por sua sigla em inglês – Spectral Modeling Synthesis) foi proposta por Xavier Serra e Julius Smith em 1990 (SERRA; SMITH, 1990) consistindo na decomposição do sinal de áudio em uma parte determinística e outra estocástica. Assumindo-se que o sinal é constituído por esses dois componentes, considera-se que a parte determinística consiste na soma de componentes senoidais, onde cada senoide corresponde a um componente do som original, descrito por uma função de amplitude e frequência (implementado por meio de FFT¹⁰). A parte estocástica compreende porções não senoidais do sinal, ruídos em geral, os transientes e outros componentes não harmônicos do som:

$$s(t) = \sum_{r=1}^R A_r(t) \cos [\theta_r(t)] + e(t)$$

onde $A(t)$ e $\theta(t)$ são a amplitude e fase instantâneas de cada r senoide e $e(t)$ o componente de ruído no tempo t (em segundos). (SERRA; SMITH, 1990)

A parte estocástica pode ser obtida de maneira simplificada pela subtração no áudio original da parte determinística resultando no residual não harmônico. A subtração pode ser feita tanto no domínio do tempo quanto no da frequência. Para a abordagem pelo domínio do tempo é necessário que as fases do áudio original sejam preservadas na síntese do sinal, sendo computacionalmente mais pesada. Já para a abordagem pelo domínio da frequência a subtração pode ser realizada diretamente através do espectro de magnitude, sendo, geralmente, computacionalmente mais simples. Para tanto, a parte determinística deve ser sintetizada gerando uma representação de senoides estacionárias obtida a partir da análise harmônica, para então proceder-se à subtração (BONADA et al., 2011). A parte estocástica é representada pela estimação do espectro da diferença entre o sinal original e a parte determinística, e sua síntese é feita por meio de filtragem por ruído branco, sendo que somente uma aproximação linear é suficiente para a representação do residual não harmônico. (KOTHE, 2006)

No presente estudo o SMS foi implementado por meio da plataforma MATLAB, através de abordagem pelo domínio da frequência, descrita em detalhes em *DAFX Digital Audio Effects* (BONADA et al., 2011) e utilizando os códigos fornecidos na mesma

publicação. Os parâmetros principais adotados para o código *hprmodel.m* (BONADA et al., 2011, p. 417), que retorna os componentes harmônicos e residuais como sinais separados, além da ressíntese integral, foram: a janela de análise com filtro *blackmanharris* de 1024 pontos, resolução da FFT de 4096 pontos, e utilização máxima de 40 harmônicos.

Para comparar-se o impacto do uso das surdinas nos residuais extraídos das amostras foi adotada a estratégia de se calcular o valor RMS¹¹ do sinal residual de uma dada amostra e compará-lo ao RMS do áudio original integral da mesma amostra, chegando-se assim a um percentual de participação dos residuais nos respectivos sons originais. Dessa forma foi possível uma análise comparativa, entre as diferentes condições de estudo, do impacto que o uso de surdinas distintas ocasionou no percentual de participação dos residuais não harmônicos em relação aos áudios originais.

4. Resultados e discussão

Devido ao grande número de amostras empregadas no estudo, e como o objetivo específico do presente trabalho é fornecer uma visão geral da influência do uso de surdinas no peso do residual não harmônico na sonoridade do instrumento, os resultados apresentados e discutidos são baseados nas médias dos valores obtidos a partir das diversas amostras para cada condição de estudo. Dados de amostras isoladas só serão citados para uma maior clareza da metodologia empregada. Os resultados principais, dessa forma, são apresentados no Gráfico 1:

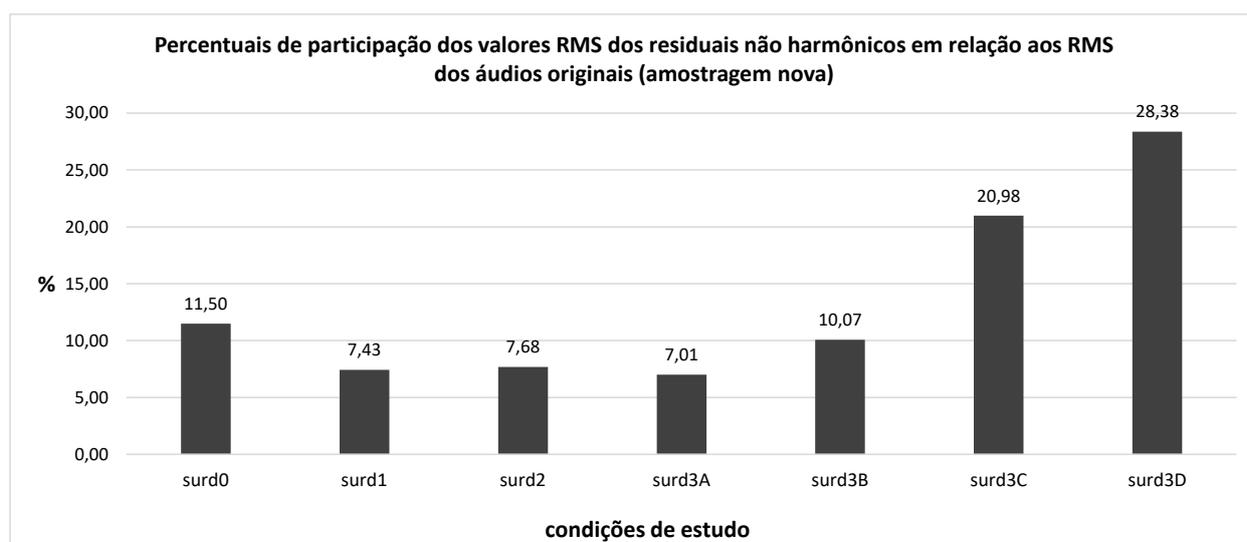


Gráfico 1 – Médias dos percentuais de participação dos valores RMS dos residuais não harmônicos em relação aos RMS dos áudios originais (amostragem nova)

Pode-se observar que o emprego do SMS forneceu dados que possibilitaram uma diferenciação clara entre as diversas condições de estudo. É importante ressaltar que o novo método de amostragem adotado forneceu resultados bastante regulares, tendo sido observada uma grande proximidade entre os valores absolutos de amostras colhidas nas mesmas condições de estudo no mesmo instrumento, com poucas exceções, notadamente entre os dois takes do vln1 com a surdina 3C. E, embora entre os dois instrumentos utilizados haja diferença mais significativa em termos de valores absolutos, as tendências de alteração da participação dos residuais com surdina em relação aos residuais da condição sem surdina, mantiveram-se as mesmas nos dois instrumentos (Gráfico 2).

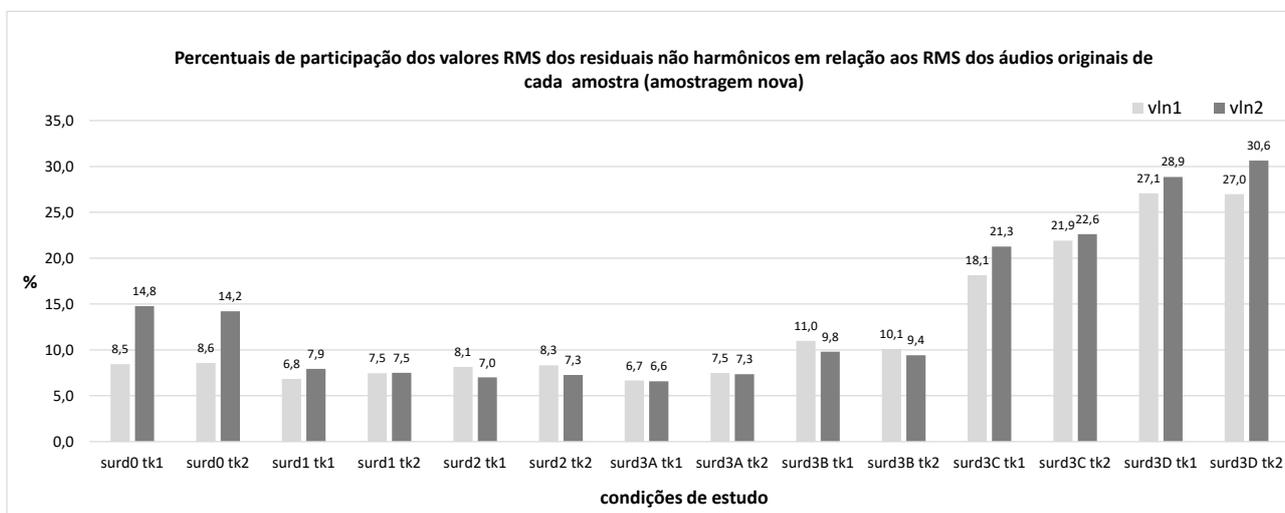


Gráfico 2 – Percentuais de participação dos valores RMS dos residuais não harmônicos em relação aos RMS dos áudios originais de cada uma das 28 amostras (2 takes com cada violino para cada condição de estudo).

Como forma de validação da análise desenvolvida, aplicou-se o mesmo processo em toda a extensa amostra do mestrado, que inclui gravações com mais quatro violinos além dos dois utilizados nos novos registros, totalizando mais de 16.000 notas, sem surdina e com três dos dispositivos novamente amostrados no presente estudo. A comparação dos resultados (Gráfico 3), evidencia tendências correspondentes de alteração dos percentuais do residual não harmônico com o emprego das mesmas três surdinas, em relação à condição sem surdina, nas duas amostras.

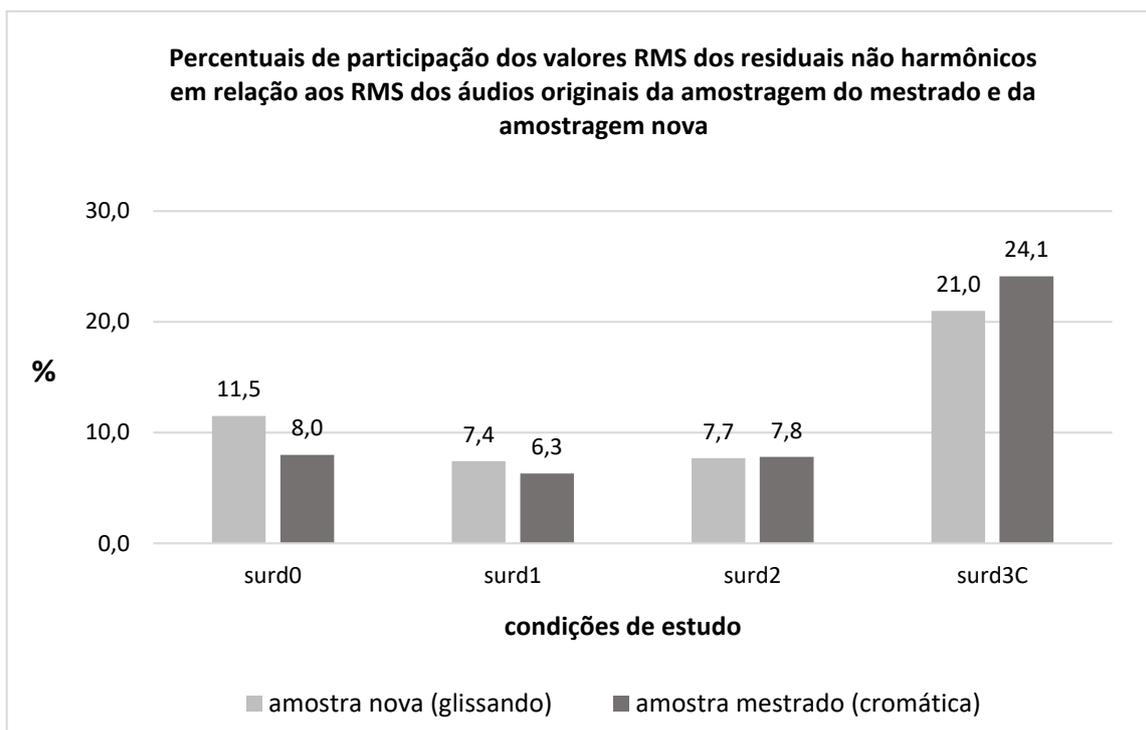


Gráfico 3 – Comparação entre os percentuais de participação dos valores RMS dos residuais não harmônicos em relação aos RMS dos áudios originais da amostragem do mestrado (cromática) e da amostragem nova (glissandos), na condição de estudo sem surdina e com as mesmas três surdinas.

Retomando o Gráfico 1, observamos que a tendência de redução do residual em relação à condição sem surdina ocorreu com as surdinas 1, 2, 3A e 3B, enquanto a tendência de aumento do residual ocorreu com a 3C e, principalmente, 3D.

Esses resultados são bastante expressivos quando se considera que, em muitas situações, análises espectrais, associadas ou não às alterações de intensidade, parecem insuficientes para explicar a alteração inequívoca na sonoridade, percebida auditivamente, com o uso de surdinas. Ao evidenciar que o uso dos dispositivos impacta nos componentes não harmônicos, em concordância com o caráter multidimensional da percepção dos timbres, a análise dos residuais obtidos pelo SMS apresenta-se com grande potencial para contribuir na investigação acerca do acoplamento acústico entre as surdinas e o cavalete.

As pesquisas acerca das surdinas para violino relacionam seus efeitos, basicamente, ao peso (CREMER, 1984; KISHI, 1998; FLETCHER; ROSSING, 2012; ELIE; GAUTIER; DAVID, 2014;). Desde o início da presente pesquisa, porém, foi observado que esse fator isolado é insuficiente para explicar o complexo funcionamento dos dispositivos. O material de que são feitas e os diferentes mecanismos de acoplamento com o cavalete têm clara influência nas alterações produzidas pelas surdinas, sendo,

porém, um grande desafio à pesquisa isolar a influência específica de cada um desses fatores. Nesse contexto a presente análise sugere relação do material empregado em cada dispositivo com a alteração no residual não harmônico.

Para buscar entender de que maneira os resultados obtidos se relacionam com cada surdina é necessário associá-los a outros dados dos dispositivos, como sua natureza física (peso e material de confecção) e a alteração produzida na intensidade dos instrumentos. Na Tabela 1 são organizadas essas informações para facilitar a análise. As médias dos valores RMS dos áudios originais de cada condição de estudo é apresentada em dB¹² para facilitar a compreensão das alterações de intensidade.

surdina	material	Peso (gramas)	RMS integral (dB)	diferença em relação à condição sem surdina (dB)	residual não harmônico (%)
0	-	-	-31,1	-	11,50
1	borracha semiflexível	1,85	-31,8	0,8	7,43
2	madeira (ébano)	5,7	-34,1	3	7,68
3A	borracha semiflexível	7,56	-33,9	2,8	7,01
3B	borracha rígida	13,5	-38,9	7,8	10,07
3C	metal cromado	44,9	-46,9	15,9	20,98
3D	metal revestido de borracha	58,65	-48,8	17,7	28,38

Tabela 1 – Relaciona as características físicas das surdinas com os dados obtidos com as diferentes condições de estudo.

Apenas os dois abafadores de metal (3C e 3D) aumentaram o percentual de residual em relação à condição sem surdina. Mesmo sendo, de longe, os dois dispositivos mais pesados, não se pode associar, porém, essa alteração apenas à sua massa, diante da análise dos dados das demais surdinas.

Dentre as quatro que diminuíram os residuais em relação à condição sem surdina, a 3A, segunda mais pesada desse grupo, foi a que gerou o menor residual dentre todos os dispositivos. Menor do que o da surdina 1, quatro vezes mais leve do que ela, sendo ambas feitas de borracha semiflexível. Também a surdina 2, de madeira, e peso bem mais próximo à 3A, ainda que mais leve, apresentou residual maior do que o dela.

Embora as surdinas 1 e 3A sejam feitas de material similar, na 3A a área de contato com o cavalete é muito maior, com seus cinco dentes, do que a da surdina 1, com

um único dente menor. Se considerarmos a propriedade amortecedora da borracha, é possível inferir que a natureza do material, de alguma forma, reduziu a geração e ou a propagação do ruído natural da fricção da crina do arco com a corda, impactando de maneira tão acentuada no residual não harmônico obtido com o uso desses dispositivos, sobretudo a 3A. A diminuição da intensidade ocasionada por esse dispositivo, em princípio um abafador, ficou muito mais próxima das duas surdinas de performance (1 e 2) do que dos outros abafadores, tendo reduzido a intensidade média ligeiramente menos do que a surdina 2, mais leve (em contraposição à associação direta entre perda de intensidade e peso).

No caso da 3C e 3D, dada a grande perda de intensidade gerada por elas (15,9 e 17,7 dB, respectivamente), é importante ter em mente que a parte determinística, majoritária na sonoridade do instrumento (sem surdina o residual responde por apenas 11,50% do RMS original) é a mais impactada com tamanha perda de energia. Considerando-se isso parece natural que os componentes não harmônicos ganhem um maior peso, embora não seja possível avaliar, num primeiro momento, se o metal reforçou, também, o residual. O comportamento da 3B, terceira surdina mais pesada dentre todas as analisadas, feita de borracha mais rígida do que a das surdinas 1 e 3A, parece sugerir, porém, que o metal da 3C e 3D (ainda que revestido) reforça o residual, pois, apesar dessa surdina (3B) provocar perda de intensidade já bastante significativa, o residual não harmônico da mesma foi, ainda assim, menor do que da condição sem surdina.

5. Considerações finais

Embora a relação entre o material de confecção das surdinas e seu impacto nos residuais demande novos estudos para efetiva validação, os resultados iniciais obtidos com a análise comparativa dos residuais não harmônicos das diferentes condições de estudo mostraram-se bastante consistentes e o SMS efetiva ferramenta de investigação da sonoridade do violino, diferenciando objetivamente as distintas condições de estudo. A inclusão nas análises comparativas dos efeitos de diferentes tipos de surdinas na sonoridade do violino de uma ferramenta que contemple uma dimensão não harmônica constitutiva do timbre, como é o caso da porção estocástica do sinal de

áudio, contribui significativamente para a melhor descrição e compreensão de tais efeitos, abrindo novas possibilidades para o desenvolvimento da presente pesquisa.

Referências

- BONADA, Jordi et al. Spectral processing. *DAFX Digital Audio Effects*, p. 393-444, 2011.
- 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.
- DA SILVA EVANGELISTA, Marcus Vinicius. Estudo comparativo do efeito de três diferentes surdinas na intensidade sonora de seis violinos. *Anais do SIMPOM*, v. 6, n. 6, 2020.
- DA SILVA EVANGELISTA, Marcus Vinicius; FREIRE, Sérgio; GARCIA, Maurício Freire; MOTA, Davi Alves. Estudo comparativo do efeito de três diferentes surdinas na LTAS de seis violinos. In: Congresso da Anppom, XXX, 2020, Manaus/AM. Disponível em: <<http://anppom-congressos.org.br/index.php/30anppom/30CongrAnppom/paper/viewFile/231/139>> Acesso em: 19/06/2021.
- 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.
- JANSSON, E. V.; SUNDBERG, J. 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.
- KOTHE, Iúri. *Técnicas de Análise Espectral de Linhas Musicais*. Rio de Janeiro, 2006. 127 f. Dissertação de mestrado, PEE/COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.
- LOUGHRIDGE, Deirdre. Muted violins from Lully to Haydn. *Early Music*, v. 44, n. 3, p. 427-447, 2016.
- LOUREIRO, Maurício A.; PAULA, Hugo B. de. Timbre de um instrumento musical: caracterização e representação. *Per Musi*, Belo Horizonte, n.14, 2006, p.57-81
- 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.

SERRA, Xavier; SMITH, Julius. Spectral modeling synthesis: A sound analysis/synthesis system based on a deterministic plus stochastic decomposition. *Computer Music Journal*, v. 14, n. 4, p. 12-24, 1990.

TAJIMI, Tomotaka et al. ACF Analysis over the Open Strings' Sound of a Violin with and without various mutes. *UK Institute of Acoustics Day Meeting Sheffield*, 2011.

WOODHOUSE, Jim. On the “bridge hill” of the violin. *Acta acustica united with acustica*, v. 91, n. 1, p. 155-165, 2005.

Notas

¹ Peça feita de madeira onde as cordas se apoiam ao serem tensionadas, permitindo a vibração das mesmas.

² A primeira partitura conhecida a citá-las é *Le triomphe de l'Amour*, de 1681, de Jean-Baptiste Lully. (LOUGHRIDGE, 2016)

³ *Long Term Average Spectrum*, Espectro Médio de Longo Termo, em português (tradução nossa). Para maiores informações vide DA SILVA EVANGELISTA, 2019 e DA SILVA EVANGELISTA et al., 2020.

⁴ As surdinas 1, 2 e 3C relacionadas aqui foram as mesmas utilizadas nas gravações da pesquisa de mestrado.

⁵ Para detalhes sobre a amostra do mestrado vide publicações anteriores já citadas (nota 3).

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

⁸ Peça que se projeta além do braço, sobre a caixa de ressonância, sobre a qual o instrumentista pressiona as cordas com os dedos.

⁹ Para informação a respeito dos critérios para a definição da execução instrumental vide publicações anteriores já citadas (nota 3).

¹⁰ *Fast Fourier Transform* (Transformada Rápida de Fourier): algoritmo desenvolvido por James William Cooley e John Wilder Tukey em 1965, para diminuir o número de cálculos requeridos para a Transformada de Fourier, que decompõe uma função temporal em suas frequências constituintes.

¹¹ RMS (*Root Mean Square*): raiz quadrada da média aritmética dos quadrados de um conjunto de valores, usada como medida da magnitude típica de um conjunto de números, independentemente de seu sinal.

¹² 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. A fórmula adotada foi $dB FS_x = 20 \log_{10} \left(\frac{x}{1} \right)$.