

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

ESCOLA DE MÚSICA

MARCUS VINICIUS DA SILVA EVANGELISTA

**ESTUDO COMPARATIVO DO EFEITO DE TRÊS DIFERENTES
SURDINAS NA SONORIDADE DE SEIS VIOLINOS: ALTERAÇÕES
NA INTENSIDADE E NO ESPECTRO HARMÔNICO**

Belo Horizonte

2019

Marcus Vinicius da Silva Evangelista

**ESTUDO COMPARATIVO DO EFEITO DE TRÊS DIFERENTES SURDINAS
NA SONORIDADE DE SEIS VIOLINOS: ALTERAÇÕES NA INTENSIDADE E
NO ESPECTRO HARMÔNICO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Música da Escola de Música da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Música.

Linha de pesquisa: Sonologia

Orientador: Prof. Doutor Maurício Freire Garcia

Coorientador: Prof. Doutor Davi Alves Mota

Belo Horizonte

2019

E92e

Evangelista, Marcus Vinicius da Silva

Estudo comparativo do efeito de três diferentes surdinas na sonoridade de seis violinos [manuscrito]: alterações na intensidade e no espectro harmônico. / Marcus Vinicius da Silva Evangelista. - 2019. 195 f., enc.; il.

Orientador: Mauricio Freire Garcia.

Coorientador: Davi Alves Mota

Linha de pesquisa: Sonologia.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Música.

Inclui bibliografia.

I. Música - Teses. 2. Análise espectral - Instrumentos. 3. Música - Acústica e física. 4. Violino. I. Garcia, Mauricio Freire. II. Mota, Davi Alves. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Música. IV. Título.

CDD: 787.1



Dissertação defendida pelo aluno MARCUS VINÍCIUS DA SILVA EVANGELISTA, em 28 de junho de 2019, e aprovada pela Banca Examinadora constituída pelos Professores:

Prof. Dr. Maurício Freire Garcia
Universidade Federal de Minas Gerais
(orientador)

Prof. Dr. Davi Alves Mota
Residente Pós-Doutoral
Universidade Federal de Minas Gerais
(coorientador)

Prof. Dr. José Pedro Donoso Gonzalez
Universidade de São Paulo

Prof. Dr. Hugo Bastos de Paula
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

Prof. Dr. Sérgio Freire Garcia
Universidade Federal de Minas Gerais

Dedicatória

A meus pais, Áurea Dêse da Silva Evangelista e Enrico Evangelista, que me deram, de primeiro, a vida, o amor e o cuidado e, depois, a educação: na constância do afeto e da integridade.

A minhas filhas amadas, Nina e Beatriz, que renovam em minha vida, com suas próprias florescentes vidas, minha esperança no presente e no futuro.

Agradecimentos

Agradeço, primeiro, à minha esposa e companheira, Joiceane, por apoiar-me, sempre, desde que nos conhecemos, em nossos projetos, nos prováveis e nos improváveis, nos possíveis e nos impossíveis.

Ao Professor Doutor Maurício Freire Garcia por ter recebido tão bem esse “modesto violinista” que pretendia voltar a estudar, desde nosso primeiro contato, apresentando-se sempre com uma generosa disponibilidade e paixão pelo conhecimento absolutamente ímpares. Por sua visão como pesquisador, capaz de reconhecer as potencialidades de uma ideia ainda mal esboçada e levá-la a se materializar em um projeto de pesquisa estruturado. Por toda a ajuda, pelo compartilhar de sua profunda vivência de décadas com a realização do fazer musical, seja como artista, como pesquisador, como mestre.

Ao Professor Doutor Davi Alves Mota pela também generosa disposição de abraçar a pesquisa, disponibilizando seu imenso conhecimento técnico na solução de todos os problemas que se apresentaram ao longo do trabalho. Por toda a paciência, por todo o companheirismo e confiança na superação das dificuldades.

À Luiza Gaspar Anastácio, à Paula Cordeiro Franco e ao Leonardo Lobão Lacerda, por terem colaborado de maneira desinteressada com a pesquisa, doando seu precioso tempo nas longas sessões de gravação que produziram a matéria prima desse trabalho, por terem uma paciência extrema com nossas “infindáveis escalas cromáticas”. À Luiza e ao Leonardo por terem, ainda, cedido seus instrumentos para serem utilizados nas gravações.

A meu amigo de todas as horas, Márcio Moreira Mendes, pela ajuda com os testes para as gravações. Ao grande amigo Rubem Filho, por ceder tão generosamente seu imenso talento e tempo, enriquecendo o trabalho com a exatidão de seu traço.

Aos Professores Doutores Maurício Loureiro e Sérgio Freire pelas enriquecedoras discussões e pelo compartilhar de seus conhecimentos e experiência.

A todos os colegas e equipe do Centro de Estudos do Gesto Musical e Expressão (CEGeME).

*“Ao passo que a música está nela mesma,
isto é, no que resta além de nós. E o resto é silêncio.”*

“A música é o silêncio em movimento.”¹

¹ “O Encontro Marcado” (SABINO, 1986, p. 188)

RESUMO

A presente pesquisa investiga os efeitos produzidos na sonoridade de seis violinos, de diferentes qualidades, pelo uso de três diferentes tipos de surdinas, por meio de um estudo comparativo entre os instrumentos selecionados em quatro condições de estudo: sem surdina e com cada uma das três surdinas. São utilizados como parâmetros de análise a alteração da intensidade (medida em RMS) 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 dentre as quatro condições de estudo; é utilizado, também, para análise espectral, a LTAS, por meio da qual se obtém uma visão geral do efeito de cada surdina nas características espectrais dos violinos analisados. A partir da análise dos dados relativos às alterações registradas nos dois parâmetros, nos diferentes instrumentos, descreve-se as características principais dos efeitos produzidos por cada um dos tipos de surdina na sonoridade dos instrumentos, estabelecendo-se relação entre as diferentes características físicas das surdinas e seus efeitos específicos na sonoridade original dos instrumentos.

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

ABSTRACT

The present research investigates the effects produced by three different mutes in the sonority of six dissimilar violins, by means of comparing their sound emission in four study conditions: without mute and with each of the three mutes. The sound intensity (measured in RMS) and changes in the harmonic spectrum produced by the devices are analysed in isolated notes and averages of selected notes; it is also used, for spectral analysis, the LTAS, by means of which an overview of the effect of each mute is obtained on the spectral characteristics of the violins analyzed. From the analysis of these two parameters, in different instruments, the main characteristics of the effects produced by each types of mute in the sonority of the instruments are described, establishing a relation between the different physical characteristics of the mutes and their specific effects on the instrument's original sonority.

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

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Esquema representando as partes básicas de um violino. (fonte: ilustração de Rubem Filho, adaptada de GUILLOUX, 1996)	36
Figura 2.2 – O arco moderno e suas partes. (fonte: ilustração de Rubem Filho, baseada em FOMIN, 2018)	39
Figura 2.3 – A evolução do arco do violino do séc. XVII ao XVIII. O último é o arco moderno, desenvolvido por Tourte por volta de 1785, também conhecido como arco Viotti. (fonte: FETIS; STRADIVARI, 1864, p.112)	40
Figura 2.4 – Corda friccionada: movimento de Helmholtz. (fonte: ROSSING; MORRISON, 2010, p. 199)	42
Figura 2.5 – Direção do deslocamento da corda ao longo do tempo. (fonte: ROSSING; MORRISON, 2010, p. 198)	42
Figura 2.6 – Funções de deslocamento e velocidade em uma dada posição ao longo da corda, de acordo com as observações de Helmholtz. (fonte: CREMER, 1984, p. 37)	42
Figura 2.7 – Corte esquemático do violino representando a Ressonância de Helmholtz. (fonte: adaptado de GOUGH, 2000, p. 57)	44
Figura 2.8 – Visualização dos modos 2 (esquerda) e 5 (direita) de um típico tampo de violino. O mesmo é polvilhado com limalha e suspenso sobre um alto-falante ligado a um gerador de ondas senoidais. Quando a frequência atinge a mesma de um dos modos do tampo, este vibra vigorosamente, provocando o agrupamento da limalha ao longo das linhas nodais. (fonte: ROSSING; MORRISON, 2010, p. 228)	45
Figura 2.9 – Resposta acústica de um Guarneri del Gesù: ressonâncias do ar (A_0), do tampo superior (T_1) e do corpo (C_3 e C_4), além das ressonâncias em torno de 2.5 KHz do cavalete (<i>bridge hill</i>). (DONOSO et al., 2008, p. 2305-10)	46
Figura 2.10 – Imagem de um tampo de violino expondo a barra harmônica. (fonte: internet, sem autoria)	47
Figura 2.11 – Caixa de ressonância do violino, detalhe para alma e barra harmônica. (fonte: ilustração de Rubem Filho)	47

Figura 2.12 – Violino montado com cavalete de modelo antigo e cordas de tripa, acervo da Fondazione Museo del Violino Antonio Stradivari, em Cremona. (fonte: foto de dezembro de 2017 feita pelo Prof. Doutor Maurício Freire Garcia, orientador da pesquisa, cedida pelo mesmo)	48
Figura 2.13 – Cavalete de violino atual visto de frente. O orifício central é conhecido como coração e os laterais como ouvidos, embaixo, os pés. (fonte: internet, sem autoria)	49
Figura 2.14 – Na imagem do lado esquerdo, cavalete de Antonio Stradivari; do lado direito cavalete moderno. Estes foram os principais modelos de cavaletes usados ao longo da história do violino. (fonte: DAMAS, 2012, p. 29)	50
Figura 2.15 – Representação dos dois principais modos de vibração do cavalete; à esquerda a oscilação lateral da porção superior da peça, na faixa dos 3.000 Hz, conhecida como <i>bridge hill</i> . À direita, a ressonância característica da oscilação vertical. Alguns autores a localizam na faixa de 4.500 Hz em vez de 6.000 Hz. (fonte: ROSSING; MORRISON, 2010, p. 231)	51
Figura 2.16 – Análise de Jansson de 25 violinos de alta qualidade. Na figura inferior, o círculo (destaque nosso) delimita a região do <i>bridge hill</i> . (fonte: JANSSON, 1997 apud DONOSO et al.,2008)	52
Figura 2.17 – Mobilidade do cavalete de um violino Guarneri onde se percebe a correspondência dos modos de vibração de Jansson. A letra F indica o <i>bridge hill</i> (destaque nosso). (fonte: MORAL; JANSSON, 1982 apud ROSSING; MORRISON, 2010, p. 223)	52
Figura 2.18 – O cavalete como filtro "passa-baixas". (fonte: DONOSO et al.,2008, p. 2305-11)	52
Figura 2.19 – Relação entre a pressão do arco e o ponto de contato com a corda, para uma velocidade constante de deslocamento do arco. Como se pode observar, tocando-se mais próximo ao cavalete, por exemplo, é necessária maior pressão do arco, e se obtêm um som mais brilhante. * <i>Sul ponticello/Sul tasto</i> : expressões italianas utilizadas nas partituras dos instrumentos de arco que indicam, respectivamente, tocar próximo ao cavalete e próximo ao espelho. (fonte: adaptado de SCHELLENG, 1973 apud FLETCHER; ROSSING, 2012, p. 279)	54

Figura 2.20 – Diagrama funcional do violino: do músico até o ouvinte. (fonte: adaptado de ELIE; GAUTIER, 2014, p. 1386)	55
Figura 2.21 – Descrição da atuação do corpo do violino e seus diferentes componentes responsáveis pelo espectro final do som do violino. (fonte: adaptação de GOUGH, 2016, p. 25)	56
Figura 3.1 – Surdina acoplada ao cavalete. (fonte: imagem própria)	57
Figura 3.2 – Surdina acoplada às cordas. (fonte: internet sem autoria)	57
Figura 3.3 – Excerto da “ <i>Verklärte Nacht</i> ” (1902) de Schoenberg, (composta originalmente para sexteto de cordas – na grade, de cima para baixo, 1º e 2º violinos, 1ª e 2ª violas e 1º e 2º violoncelos), na qual o compositor especifica claramente quais instrumentos utilizarão surdina: “* 1º violino, 2ª viola e 2º cello sem surdina; 2º violino, 1ª viola e 1º cello com surdina” (tradução nossa) (fonte: Petrucci Music Library - http://imslp.org/)	58
Figura 3.4 – Foto da coleção de surdinas de Kenneth Sarch (SARCH, 2017, p. 24)	63
Figura 3.5 – Fac-símile de “ <i>Le triomphe de l’amour</i> ” de Lully com sua detalhada instrução para a utilização de surdinas. (fonte: Petrucci Music Library - http://imslp.org/)	66
Figura 3.6 – <i>Sordino</i> , de Filippo Bonanni, <i>Gabinetto armonico pieno d’instromenti sonori indicati, spiegati, e di nuovo corretti, ed accresciuti</i> (Rome, 1723), pl. 59, Getty Research Institute. (LOUGHRIDGE, 2016, p. 429)	68
Figura 3.7 – Fac-símile de imagem do tratado de Mersenne da surdina para trompete e parte do trecho original em que ele a descreve (fonte: MERSENNE, 1636)	69
Figura 3.8 – Réplica de uma surdina feita de <i>boxwood</i> (<i>Buxus sempervirens</i>), do séc. XVIII, provavelmente italiana, a original tendo sido encontrada em um violino bolonhês do séc. XVIII (LOUGHRIDGE, 2016, p. 431)	75
Figura 4.1 – Surdina 1 sendo utilizada em posição central. (fonte: imagem própria)	80
Figura 4.2 – Surdina 1 – “Tourte”, em tamanho real. (fonte: imagem própria)	81
Figura 4.3 – Surdina 1 em posição de repouso, nas cordas 2 e 3. (fonte: imagem própria).....	81
Figura 4.4 – Imagem das três surdinas utilizadas na pesquisa em tamanho real. (fonte: imagem própria)	81

Figura 4.5 – Surdina 2 sendo utilizada em posição central. (fonte: imagem própria)	82
Figura 4.6 – Surdina 2, em tamanho real. (fonte: imagem própria)	83
Figura 4.7 – Abafador de metal em posição de uso. (fonte: imagem própria)	83
Figura 4.8 – Surdina 3, em tamanho natural. (fonte: internet, sem autoria)	84
Figura 4.9 – Detalhe das marcas colocadas na corda Sol (parte inferior da imagem) para servirem de guia para os instrumentistas. (fonte: imagem própria)	92
Figura 4.10 – Arco, com a marca na metade da extensão de crina, posicionado entre as marcas da guia sobre a corda Sol. (fonte: imagem própria)	92
Figura 4.11 – Arco utilizado nas gravações com a marca para orientação dos instrumentistas feita no meio da extensão de crina do mesmo. (fonte: imagem própria)	93
Figura 4.12 – Ponto de contato adotado para a execução das amostras em relação ao diagrama de Schelleng. A faixa vermelha, 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).....	96
Figura 4.13 – Curva de resposta no padrão cardioide do microfone M-Audio Solaris utilizado nas gravações. (disponível em: < recordinghacks.com/microphones/M-Audio/solaris > acesso em: 30/05/2018)	99
Figura 4.14 – Imagem representando a região de análise de 1000 milissegundos definida na segunda repetição da nota Ré4 tocada na terceira corda no vln3 pelo sujeito 3 sem surdina.	103
Figura 4.15 – Imagem representando a região de análise de 1000 milissegundos definida na quarta repetição da nota Fá6 tocada na primeira corda no vln6 pelo sujeito 2 com a surdina 3.	103
Figura 4.16 – Imagem representando a região de análise de 1000 milissegundos definida na terceira repetição da nota Si6 tocada na primeira corda no vln4 pelo sujeito 2 sem surdina.	103
Figura 4.17 – Exemplo de planilha para obtenção da média e desvio padrão (DP) das quatro repetições da mesma nota. São mostrados os valores das leituras das	

notas da corda Sol do violino seis, tocadas pelo sujeito 1 na condição de estudo sem surdina. (B – arcada para baixo, C – arcada para cima, valores em RMS) . 104

Figura 4.18 – Exemplo de obtenção da média e desvio padrão (DP) das leituras RMS das doze repetições de cada nota, feitas pelos três sujeitos (quatro cada), utilizada para representar o comportamento de cada um dos vlns em cada uma das quatro condições de estudo. A planilha acima mostra a média e DP de todas as repetições das 13 primeiras notas no violino 2 com a surdina 3. 105

Figura 4.19 – Planilha de processamento das médias de cada sujeito nas diferentes condições de estudo. As quatro leituras acima de cada uma das linhas de média contêm os valores de magnitude dos harmônicos de cada uma das quatro repetições feitas para a mesma nota por cada executante. As colunas registram, portanto, a sequência dos harmônicos para as notas listadas verticalmente (1ª coluna). 106

Figura 5.1 – Curva de Intensidade Total (*loudness curve*) de um Stradivaius de 1713, registrada com um decibelímetro, abrangendo a extensão contínua do instrumento em sequência cromática. As linhas verticais, da esquerda para a direita marcam as frequências das cordas soltas do violino (respectivamente Sol3, Ré4, Lá4 e Mi5). O círculo cinza representa a zona de uma ressonância característica, denominada por Hutchins “*wood prime*” (aproximadamente uma oitava abaixo da ressonância T₁), o círculo claro, a ressonância do ar (A₀) e o preto a do modo T₁ (denominado pela autora “*wood ressonance*”). (fonte: HUTCHINS, 1962, p. 87) 120

Figura 6.1 – Excerto dos primeiros e segundos violinos (do 16º ao 20º compasso) do “*Prélude de l’après-midi d’un faune*”, de Claude Debussy, composição orquestral de 1894. (fonte: Petrucci Music Library - <http://imslp.org/>) 159

LISTA DE GRÁFICOS

- Gráfico 4.1 – Gráfico de I (valor do sinal) x t (tempo) representando o cálculo do RMS de uma grandeza senoidal, onde I_0 representa o valor instantâneo (no exemplo, valor igual a 3), I_0^2 o quadrado do valor instantâneo (igual a 9), $\langle I_0^2 \rangle$ a média de I_0^2 (igual a 4,5) e, finalmente, o RMS: valor 2,12. (fonte: adaptação de YOUNG; FREEDMAN, 2009, p. 348) 85
- Gráfico 5.1a – Esse gráfico apresenta as médias das quatro repetições de cada nota, tocadas por cada um dos sujeitos com o violino 1 sem surdina (surd0) e a média dos três nas cordas Sol (4ª) e Ré (3ª); as barras de erro representam o desvio padrão das médias entre os sujeitos 111
- Gráfico 5.1b – Esse gráfico apresenta as médias das quatro repetições de cada nota, tocadas por cada um dos sujeitos com o violino 1 sem surdina (surd0) e a média dos três nas cordas Lá (2ª) e Mi (1ª); as barras de erro representam o desvio padrão das médias entre os sujeitos 111
- Gráfico 5.2a – Esse gráfico apresenta as médias das quatro repetições de cada nota, tocadas por cada um dos sujeitos com o violino 1 com a surdina 1 (surd1) e a média dos três nas cordas Sol (4ª) e Ré (3ª); as barras de erro representam o desvio padrão das médias entre os sujeitos 112
- Gráfico 5.2b – Esse gráfico apresenta as médias das quatro repetições de cada nota, tocadas por cada um dos sujeitos com o violino 1 com a surdina 1 (surd1) e a média dos três nas cordas Lá (2ª) e Mi (1ª); as barras de erro representam o desvio padrão das médias entre os sujeitos 112
- Gráfico 5.3a – Apresenta as médias de todas as repetições de cada nota, tocadas por todos os sujeitos (12 repetições, portanto, quatro de cada um) com o violino 2 sem surdina (surd0) e com as três surdinas (surd1, surd2 e surd3), nas cordas Sol (4ª) e Ré (3ª) 114
- Gráfico 5.3b – Apresenta as médias de todas as repetições de cada nota, tocadas por todos os sujeitos (12 repetições, portanto, quatro de cada um) com o violino 2 sem surdina (surd0) e com as três surdinas (surd1, surd2 e surd3), nas cordas Lá (2ª) e Mi (1ª) 114

Gráfico 5.4a – Apresenta as médias de todos os 6 vlns amostrados (72 repetições de cada nota, portanto, tocadas pelos três sujeitos), nas condições surd0 e surd1, nas cordas Sol (4ª) e Ré (3ª)	115
Gráfico 5.4b – Apresenta as médias de todos os 6 vlns amostrados (72 repetições de cada nota, portanto, tocadas pelos três sujeitos), nas condições surd0 e surd1, nas cordas Lá (2ª) e Mi (1ª)	115
Gráfico 5.5 – Apresenta as médias de cada vln, (12 repetições de cada nota, tocadas pelos três sujeitos) com a surd2 e as médias de todos os vlns nas condições surd0 e surd2	117
Gráfico 5.6 – Apresenta as médias de cada vln, com a surd2 e as médias de todos os vlns nas condições surd0 e surd2, na corda Sol	117
Gráfico 5.7 – Apresenta as médias de cada vln, com a surd2 e as médias de todos os vlns nas condições surd0 e surd2, na corda Ré	117
Gráfico 5.8a – Apresenta as médias de cada vln, (12 repetições de cada nota, tocadas pelos três sujeitos) com a surd3 e as médias de todos os vlns nas condições surd0 e surd3, nas cordas Sol (4ª) e Ré (3ª)	118
Gráfico 5.8b – Apresenta as médias de cada vln, (12 repetições de cada nota, tocadas pelos três sujeitos) com a surd3 e as médias de todos os vlns nas condições surd0 e surd3, nas cordas Lá (2ª) e Mi (1ª)	118
Gráfico 5.9a – Apresenta as médias de todos os vlns (72 repetições de cada nota, tocadas pelos três sujeitos nos seis violinos) sem surdina e com as três surdinas, nas cordas Sol (4ª) e Ré (3ª)	119
Gráfico 5.9b – Apresenta as médias de todos os vlns (72 repetições de cada nota, tocadas pelos três sujeitos nos seis violinos) sem surdina e com as três surdinas, nas cordas Lá (2ª) e Mi (1ª)	119
Gráfico 5.10 – A intensidade de cada corda é apresentada e a linha vermelha pontilhada representa a média das quatro cordas, resultando na curva de intensidade total do vln6 com a surdina2. As barras de erro na média representam o desvio padrão entre as várias repetições feitas pelos três sujeitos, para cada altura, em uma corda ou duas	122
Gráfico 5.11 – Esse gráfico apresenta as médias das notas de cada vln (todas as repetições de cada nota, tocadas por todos os sujeitos em cada violino, em uma ou duas	

cordas) sem surdina (surd0) e as médias, da mesma natureza, de todos os instrumentos (vlns) para as 41 frequências analisadas As barras de erro na média de todos os vlns representam o desvio padrão entre as médias dos instrumentos	123
Gráfico 5.12 – Esse gráfico apresenta as médias das notas de cada vln (todas as repetições de cada nota, tocadas por todos os sujeitos em cada violino, em uma ou duas cordas) com a surdina um e as médias, da mesma natureza, de todos os instrumentos (vlns) para as 41 frequências analisadas para a mesma condição de estudo e sem surdina também. As barras de erro nas médias de todos os vlns representam o desvio padrão entre as médias dos instrumentos em cada condição de estudo	125
Gráfico 5.13 – Esse gráfico apresenta as médias das notas de cada vln (todas as repetições de cada nota, tocadas por todos os sujeitos em cada violino, em uma ou duas cordas) com as surdinas dois e três e as médias, da mesma natureza, de todos os instrumentos (vlns) para as 41 frequências analisadas para as mesmas condições de estudo e sem surdina também. As barras de erro nas médias de todos os vlns representam o desvio padrão entre as médias dos instrumentos em cada condição de estudo	126
Gráfico 5.14 – Apresenta as curvas de intensidade total de todos os instrumentos nas quatro condições de estudo. As barras de erro representam o desvio padrão entre as médias das diferentes condições	128
Gráfico 5.15 – Apresenta as curvas de variação da intensidade, ao longo da extensão analisada dos instrumentos, provocadas por cada uma das surdinas em relação à condição sem surdina. Para elaboração do mesmo foram considerados os valores do gráfico 5.14	129
Gráfico 5.16 – Apresenta a média de intensidade dos violinos, por corda (4 – Sol, 3 – Ré, 2 – Lá, 1 – Mi), nas quatro condições de estudo e, também, a média total de todos os instrumentos da pesquisa (vlns)	130
Gráfico 5.17 – Apresenta a médias totais de intensidade dos violinos indicados pelos números (vln1, vln2, etc.), nas quatro condições de estudo e, também, a média total de todos os instrumentos (vlns)	130

Gráfico 5.18 – Apresenta a média de intensidade dos violinos nas cordas Sol (4 ^a) e Mi(1 ^a) nas condições de estudo sem surdina e com a surdina 2, também, a média total dessas duas cordas de todos os instrumentos da pesquisa (vlns) nas mesmas duas condições de estudo	132
Gráfico 5.19 – Variação média da intensidade entre as quatro condições de estudo	134
Gráfico 5.20 – Variação média da intensidade nas amostras dos três sujeitos	135
Gráfico 5.21 – Variação média da intensidade nas amostras dos seis violinos	135
Gráfico 5.22 – Espectros das quatro repetições nota Sol3 tocada no violino um, pelo sujeito dois, com a surdina dois, e a média das mesmas	137
Gráfico 5.23 – Espectros das médias das quatro repetições da nota Lá4 tocadas no violino um por cada um dos sujeitos e a média entre todas as repetições, sem surdina.....	138
Gráfico 5.24 – Espectros das médias das quatro repetições da nota Lá4 tocadas no violino seis por cada um dos sujeitos e a média entre todas as repetições, sem surdina.....	138
Gráfico 5.25 – Médias dos espectros das doze repetições da nota Sol3 tocadas pelos três sujeitos em cada um dos violinos, sem surdina	139
Gráfico 5.26 – Espectro harmônico do Si6 tocado sem surdina	139
Gráfico 5.27 – Espectro harmônico do Si6 tocado com a surdina um	139
Gráfico 5.28 – Espectro harmônico do Si6 tocado com a surdina dois	140
Gráfico 5.29 – Espectro harmônico do Si6 tocado com a surdina três	140
Gráfico 5.30 – Espectro harmônico do Dó#4 tocado sem surdina	140
Gráfico 5.31 – Espectro harmônico do Dó#4 tocado com a surdina um	140
Gráfico 5.32 – Espectro harmônico do Dó#4 tocado com a surdina dois	141
Gráfico 5.33 – Espectro harmônico do Dó#4 tocado com a surdina três	141
Gráfico 5.34 – No cabeçalho do gráfico é informada a intensidade da nota A3. Observe-se que nas condições surd0, surd1 e surd2, a variação da intensidade é mínima. Já no espectro há uma grande variação nas intensidades relativas das parciais harmônicas	141
Gráfico 5.35 – No cabeçalho do gráfico é informada a intensidade da média das repetições da nota A3. Observe-se que nas condições surd0, surd1 e surd2, a variação da	

intensidade é mínima. Já no espectro há uma grande variação nas intensidades relativas das parciais harmônicas	142
Gráfico 5.36 – Gráfico apresentando as LTAS dos três sujeitos, separadamente, tocando o violino seis sem surdina e a LTAS dos registros agrupados dos três com mesmo instrumento e mesma condição de estudo	143
Gráfico 5.37 – Gráfico apresentando as LTAS dos três sujeitos, separadamente, tocando o violino um com a surdina três e a LTAS dos registros agrupados dos três com mesmo instrumento e mesma condição de estudo	143
Gráfico 5.38 – Gráfico apresentando as LTAS dos registros dos três sujeitos agrupados para cada violino sem surdina e LTAS do agrupamento de todos os violinos na mesma condição de estudo	145
Gráfico 5.39 – Gráfico apresentando as LTAS dos registros dos três sujeitos agrupados para cada violino com a surdina um e LTAS do agrupamento de todos os violinos na mesma condição de estudo	145
Gráfico 5.40 – Gráfico apresentando as LTAS dos registros dos três sujeitos agrupados para cada violino com a surdina dois e LTAS do agrupamento de todos os violinos na mesma condição de estudo	146
Gráfico 5.41 – Gráfico apresentando as LTAS dos registros dos três sujeitos agrupados para cada violino com a surdina três e LTAS do agrupamento de todos os violinos na mesma condição de estudo	146
Gráfico 5.42 – Gráfico apresentando as LTAS de todos os registros agrupados para cada violino, em cada uma das quatro condições de estudo	148
Gráfico 5.43 – Gráfico representando a resposta como filtro acústico das três surdinas, baseado na variação de intensidade na leitura LTAS de cada uma das surdinas em relação à condição sem surdina, ao longo da faixa de frequência analisada	149
Gráfico 5.44 – Apresenta as curvas de variação da intensidade, ao longo da extensão analisada dos instrumentos, provocadas por cada uma das surdinas em relação à condição sem surdina, com as frequências das fundamentais das notas, para comparação com a leitura LTAS (gráfico 5.45)	151
Gráfico 5.45 – Gráfico representando a resposta como filtro acústico das três surdinas, baseado na variação de intensidade na leitura LTAS de cada uma das surdinas em relação à condição sem surdina, ao longo da faixa de frequência analisada, com	

resolução maior da LTAS (largura de faixa de 10 Hz), para comparação com a alteração na intensidade das notas (gráfico 5.44)	151
Gráfico 6.1 – Curva de Intensidade Total da extensão do 2º violino, do excerto da figura 6.1, sem surdina e com as surdinas um e dois	159
Gráfico 6.2 – Curva de Intensidade Total da extensão do 1º violino, do excerto da figura 6.1, sem surdina e com as surdinas um e dois	159
Gráfico apII.1 – curva de intensidade por corda vln1 surd0	172
Gráfico apII.2 – curva de intensidade por corda vln1 surd1	172
Gráfico apII.3 – curva de intensidade por corda vln1 surd2	173
Gráfico apII.4 – curva de intensidade por corda vln1 surd3	173
Gráfico apII.5 – intensidade por corda vln1 sem surdina e com as três surdinas	174
Gráfico apII.6 – curva de intensidade total vln1 sem surdina e com as três surdinas	174
Gráfico apII.7 – LTAS vln1 sem surdina e com as três surdinas	175
Gráfico apII.8 – intensidade média vln1	175
Gráfico apII.9 – curva de intensidade por corda vln2 surd0	176
Gráfico apII.10 – curva de intensidade por corda vln2 surd1	176
Gráfico apII.11 – curva de intensidade por corda vln2 surd2	177
Gráfico apII.12 – curva de intensidade por corda vln2 surd3	177
Gráfico apII.13 – intensidade por corda vln2 sem surdina e com as três surdinas	178
Gráfico apII.14 – curva de intensidade total vln2 sem surdina e com as três surdinas ..	178
Gráfico apII.15 – LTAS vln2 sem surdina e com as três surdinas	179
Gráfico apII.16 – intensidade média vln2	179
Gráfico apII.17 – curva de intensidade por corda vln3 surd0	180
Gráfico apII.18 – curva de intensidade por corda vln3 surd1	180
Gráfico apII.19 – curva de intensidade por corda vln3 surd2	181
Gráfico apII.20 – curva de intensidade por corda vln3 surd3	181
Gráfico apII.21 – intensidade por corda vln3 sem surdina e com as três surdinas	182
Gráfico apII.22 – curva de intensidade total vln3 sem surdina e com as três surdinas ..	182
Gráfico apII.23 – LTAS vln3 sem surdina e com as três surdinas	183
Gráfico apII.24 – intensidade média vln3	183
Gráfico apII.25 – curva de intensidade por corda vln4 surd0	184
Gráfico apII.26 – curva de intensidade por corda vln4 surd1	184

Gráfico apII.27 – curva de intensidade por corda vln4 surd2	185
Gráfico apII.28 – curva de intensidade por corda vln4 surd3	185
Gráfico apII.29 – intensidade por corda vln4 sem surdina e com as três surdinas	186
Gráfico apII.30 – curva de intensidade total vln4 sem surdina e com as três surdinas ...	186
Gráfico apII.31 – LTAS vln4 sem surdina e com as três surdinas	187
Gráfico apII.32 – intensidade média vln4	187
Gráfico apII.33 – curva de intensidade por corda vln5 surd0	188
Gráfico apII.34 – curva de intensidade por corda vln5 surd1	188
Gráfico apII.35 – curva de intensidade por corda vln5 surd2	189
Gráfico apII.36 – curva de intensidade por corda vln5 surd3	189
Gráfico apII.37 – intensidade por corda vln5 sem surdina e com as três surdinas	190
Gráfico apII.38 – curva de intensidade total vln5 sem surdina e com as três surdinas ...	190
Gráfico apII.39 – LTAS vln5 sem surdina e com as três surdinas	191
Gráfico apII.40 – intensidade média vln5	191
Gráfico apII.41 – curva de intensidade por corda vln6 surd0	192
Gráfico apII.42 – curva de intensidade por corda vln6 surd1	192
Gráfico apII.43 – curva de intensidade por corda vln6 surd2	193
Gráfico apII.44 – curva de intensidade por corda vln6 surd3	193
Gráfico apII.45 – intensidade por corda vln6 sem surdina e com as três surdinas	194
Gráfico apII.46 – curva de intensidade total vln6 sem surdina e com as três surdinas ...	194
Gráfico apII.47 – LTAS vln6 sem surdina e com as três surdinas	195
Gráfico apII.48 – intensidade média vln6	195

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – instrumentos utilizados na amostragem	79
Quadro 2 – extensão amostrada dos instrumentos por corda	90
Quadro 3 – intensidade média	131
Quadro 4 – média de atenuação	131
Quadro 5 – relação das dez notas isoladas mais fortes registradas	133
Quadro 6 – relação das dez notas isoladas mais fracas registradas	133
Quadro 7 – relação das dez médias de notas mais fortes registradas	134
Quadro 8 – relação das dez médias de notas mais fracas registradas	134
Quadro 9 – condição de estudo	136
Quadro 10 – sujeitos	136
Quadro 11 – violinos	136

SUMÁRIO:

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação da proposta de pesquisa	26
1.2 Objetivos	27
1.3 Justificativa	28

2 O VIOLINO

2.1 Breve histórico do instrumento	32
2.2 Abordagem científica do instrumento	33
2.3 Características físicas do violino	35
2.4 O arco do violino	38
2.5 Elementos da acústica do violino	
2.5.1 <i>Natureza Do Movimento Ondulatório Da Corda Friccionada Por Arco: Movimento De Helmholtz</i>	42
2.5.2 <i>Ressonância de Helmholtz</i>	43
2.5.3 <i>Modos de vibração do corpo</i>	44
2.5.4 <i>A caixa de ressonância e seus componentes internos</i>	46
2.5.5 <i>O Cavalete</i>	48
2.6 A arcada: uma equação de três variáveis	53
2.7 A resultante final: o som do violino	55

3 A SURDINA DOS INSTRUMENTOS DE ARCO

3.1 Descrição	57
3.2 A pesquisa sobre surdinas de violino	59
3.3 Tipos de surdinas e seu uso	62
3.4 Histórico de utilização	
3.4.1 <i>Primeiros registros</i>	65
3.4.2 <i>Natureza original das surdinas e sua função</i>	70

4 METODOLOGIA DE PESQUISA	76
4.1 Violinos selecionados para a pesquisa	77
4.2 As surdinas selecionadas para a pesquisa	
4.2.1 Surdina 1: “tourte”	80
4.2.2 Surdina 2: ébano	82
4.2.3 Surdina 3: metálica (“de estudo”/abafador)	83
4.3 Descritores acústicos utilizados para análise	
4.3.1 RMS (Root Mean Square)	85
4.3.2 Espectro Harmônico	86
4.3.3 LTAS (Long Term Average Spectrum)	88
4.4 Definição das amostras do som dos violinos	
4.4.1 Extensão do instrumento analisada	89
4.4.2 Ampliação da amostra por meio de repetições das notas	90
4.4.3 Ampliação da amostra por meio do número de participantes	91
4.5 Protocolo de execução instrumental das amostras	
4.5.1 Condições gerais	91
4.5.2 Execução instrumental	93
4.5.3 Critérios para a definição do protocolo de execução instrumental	95
4.6 Equipamentos utilizados na pesquisa	
4.6.1 Interface de áudio	97
4.6.2 Microfone	98
4.7 Programas utilizados para as gravações e análise de dados	99
4.8 Protocolo de registro de áudio das amostras	100
4.9 Edição e formato final das amostras	
4.9.1 Edição das amostras	101
4.9.2 Formato final e número das amostras de áudio	101
4.10 Pré-processamento e segmentação de áudio para dados de notas isoladas ..	102
4.11 Agrupamento de dados e definição de médias de notas isoladas	104
4.11.1 Agrupamento de dados e definição de médias para cálculo de intensidade	104
4.11.2 Agrupamento de dados e definição de médias para elaboração dos espectros harmônicos	105

4.12 Implementação da LTAS	
4.12.1 Preparação das amostras de áudio	107
4.12.2 Configuração do PRAAT para a LTAS	108
4.13 Escala decibel adotada para apresentação dos resultados	108
5 APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS	
5.1 Análise da intensidade	
5.1.1 Curva de intensidade por corda	110
5.1.2 Curva de intensidade total	120
5.1.3 Intensidade média dos instrumentos e atenuação média das surdinas	130
5.2 Análise espectral	136
5.2.1 Espectros harmônicos	137
5.2.2 Gráficos de LTAS	142
6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	153
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	162
APÊNDICE A - PROTOCOLO DE EXECUÇÃO DAS AMOSTRAS	167
APÊNDICE B - GRÁFICOS DE RESULTADOS DE CADA VIOLINO	171

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação da proposta de pesquisa

O presente trabalho desenvolve uma pesquisa exploratória analisando os efeitos de três diferentes tipos de surdinas na sonoridade de seis violinos, de qualidades diferentes, selecionados para o estudo.

A análise foi feita por meio da comparação de dois aspectos específicos da sonoridade dos instrumentos: a alteração na intensidade e dos espectros harmônicos do som original dos violinos, quando submetidos à ação de cada uma das três diferentes surdinas. Para proceder à análise espectral, foram utilizados dois recursos específicos: a comparação de espectros harmônicos de notas isoladas (incluídas nesse caso, também, médias de espectros harmônicos de repetições da mesma nota tocadas por um ou mais de um sujeito em um mesmo violino) representativos da extensão analisada dos instrumentos e a comparação entre a *Long Term Average Spectrum* (LTAS)² das amostras ou agrupamentos de amostras.

Para tanto foi necessário o desenvolvimento de um protocolo de execução instrumental específico que possibilitasse uma amostragem controlada, de maneira a permitir comparações entre instrumentistas e instrumentos diferentes. Igualmente necessária foi a definição de um protocolo de registro de áudio que assegurasse a reprodução dos mesmos parâmetros de gravação, nas mesmas condições, de maneira a garantir a padronização das amostras.

A pesquisa teve como fonte básica de dados informações intrínsecas do som, extraídos de cada nota amostrada, desvinculada de qualquer contexto artístico musical. Para tanto, a coleta das amostras, embora executada por intérpretes humanos, foi feita em situação de ausência de elementos de expressão artística (basicamente sequências cromáticas organizadas por repetições de notas em cada corda dos instrumentos), onde o foco objetivado pela padronização dos procedimentos foi a uniformização e estabilidade das condições de execução, definidos pelo protocolo desenvolvido, possibilitando, assim,

² “Média Espectral de Longo Termo” (tradução nossa), será descrita na seção correspondente. Alguns autores substituem “*term*” por “*time*”, quando então a expressão poderia ser traduzida como “Média Espectral de Período Longo”.

a obtenção de dados parametrizados. Mesmo os elementos transientes de ataque e decaimento de cada nota foram desconsiderados pela metodologia de segmentação e análise adotada, que privilegiou a região central dos sons amostrados.

Tal abordagem foi considerada apropriada à pesquisa, como já observado, de natureza eminentemente exploratória, devido à grande quantidade de informações que o procedimento proposto mostrou ser capaz de reunir, dentro da perspectiva de constituir um banco de dados representativo da sonoridade do violino – instrumento foco do estudo – que poderá ser útil para referenciar pesquisas já realizadas na área ou futuros estudos, sejam ligados especificamente à acústica, ou a outros campos da musicologia, incluída aí, a performance musical.

1.2 Objetivos:

- Descrever a natureza e função das surdinas para cordas, contextualizando-as historicamente na prática musical;
- Desenvolver metodologia própria para pesquisa acerca da sonoridade dos instrumentos de arco (especificamente, no presente estudo, do violino) levando-se em conta toda a problemática envolvida no processo: condições de execução instrumental para amostragem, registro de áudio, processos de segmentação e outros recursos de análise computacionais e estatísticos, revisão bibliográfica e propostas relevantes de discussão de resultados;
- Registrar, sob condições controladas, amostras de uma extensão determinada dos seis violinos selecionados para a pesquisa, em quatro condições de estudo: sem surdina e com três diferentes tipos de surdinas;
- Descrever, em termos de alteração da intensidade do som, o efeito das três diferentes surdinas em toda a extensão analisada de cada um dos seis violinos estudados;
- Descrever, em termos de alteração do espectro sonoro, o efeito das três diferentes surdinas em uma seleção de notas representativas da extensão analisada em cada um dos seis violinos estudados e na totalidade das amostras de áudio por meio da LTAS;

- Representar graficamente o comportamento médio das surdinas em cada instrumento isoladamente e, comparativamente, no conjunto dos violinos amostrados, em relação à alteração de intensidade original e de alteração espectral de notas representativas selecionadas e por meio da LTAS;
- Relacionar as alterações na sonoridade dos instrumentos analisados com as características físicas de cada tipo de surdina utilizado no estudo (material de confecção, peso, sistema de acoplagem ao cavalete ou às cordas, rigidez, etc.);
- Buscar compreender de que maneira as surdinas influenciam o funcionamento do cavalete, alterando, conseqüentemente, a sonoridade do instrumento;
- Contribuir para o estudo geral do funcionamento acústico do violino, em especial, do cavalete e sua participação na composição do timbre do instrumento;

1.3 Justificativa

Dentre todos os atributos do som, o timbre revela-se o mais complexo: fruto de toda uma gama de fatores, sujeito a grandes variações ao longo da extensão de um mesmo instrumento ou de uma mesma voz, sofre alterações diretas devido à intensidade com que se emite o som ou às diferentes articulações possíveis para essa emissão. No entanto, mesmo com todas essas variantes, em condições normais, distinguimos o som de uma flauta daquele de um violino quando ambos tocam uma mesma melodia, mesmas alturas, mesmas durações, mesma dinâmica. De forma análoga distinguimos se está sendo usado o arco do violino ou os dedos (*pizzicato*³). E, geralmente, reconhecemos prontamente uma voz nossa conhecida ao telefone – ainda que distorcida pela transmissão. Como colocam Maurício A. Loureiro e Hugo B. de Paula em seu artigo “Timbre de um instrumento musical: caracterização e representação”:

O conceito abstrato aparentemente simples de timbre refere-se comumente à cor ou à qualidade do som. É percebido a partir da interação de inúmeras propriedades estáticas e dinâmicas do som, agregando não apenas um conjunto extremamente complexo de atributos auditivos, mas também uma enorme gama de fatores que traduzem aspectos psicológicos e musicais. Sua definição oficial

³ Tocar nos instrumentos de arco sem a utilização do mesmo, tangendo as cordas diretamente com a ponta dos dedos, como é feito em instrumentos de corda dedilhada (violão, por exemplo).

pela ASA (*American Standard Association*) o dissocia dos conceitos de intensidade e altura: “atributo do sentido auditivo em termos do qual o ouvinte pode julgar que dois sons similarmente apresentados com a mesma intensidade e altura, são dissimilares” (RISSET e WESSEL, 1999). (LOUREIRO; PAULA, 2006, p.57-58).

Mesmo se abstraindo dos componentes relacionados à psicoacústica, que têm um grande impacto na compreensão do fenômeno da percepção do timbre, e da necessária contextualização do objeto de estudo sonoro em seu ambiente musical (quando se trabalha especificamente com o timbre de instrumentos musicais), a observação do som em si fornece medidas acústicas que possibilitam análises quantitativas de vários dos componentes que concorrem para a percepção do timbre (intensidade, ataque, envelope de amplitude etc.), caracterizada por sua natureza multidimensional, e, notadamente, das parciais harmônicas, como destacam os autores do mesmo artigo citado:

Trabalhos de pesquisa já realizados na década de 60 mostraram ser bastante adequada a representação de sons de instrumentos musicais através de curvas de variações temporais das amplitudes e das frequências dos componentes harmônicos (LUCE, 1963; FREEDMAN, 1965; LUCE e CLARK, 1965; RISSET, 1965; LUCE e CLARK, 1967; STRONG e CLARK, 1967b, 1967a; FREEDMAN, 1968; GREY, 1975; GORDON e GREY, 1978; GREY, 1978; MCADAMS e BREGMAN, 1979; RISSET e WESSEL, 1999). (LOUREIRO; PAULA, 2006, p.59-60).

Em relação ao violino, a descrição das características do som do instrumento, em sua objetivação final, ou seja, na análise da sonoridade de toda a extensão do mesmo, em suas múltiplas possibilidades, não é contemplada pela investigação, apenas, das propriedades acústicas do instrumento em si, relacionadas mais especificamente ao funcionamento físico do mesmo. Fatores relacionados à montagem do instrumento, como uma eventual substituição do cavalete ou à simples alteração das cordas utilizadas (sejam elas de tripa, metal ou perlon⁴), além do tempo de uso das mesmas, produzem significativas alterações na sonoridade do instrumento. A grande variação espectral que se observa ao longo da extensão do violino (cerca de quatro oitavas) ou quando se toca uma mesma nota em cordas diferentes, a alteração de transientes relacionada às múltiplas possibilidades de emissão de um mesmo som (ao se utilizar golpes de arco⁵ diferentes,

⁴ Material sintético utilizado na confecção da parte interna das cordas que aproxima, em certa medida, o som das mesmas do timbre característico dos antigos encordoamentos de tripa, porém, com muito menor perda de intensidade – som menos metálico do que o dos encordoamentos de metal.

⁵ De acordo com Henrique Autran Dourado, em seu livro “O arco dos instrumentos de cordas”: [...] golpe de arco, refere-se, primordialmente, ao repertório de maneiras diferentes de se articular um única nota ou grupo de notas em determinada célula musical por meio de um gesto técnico específico, passível de ser

pizzicato ou outros efeitos de articulação distintos), fatores esses que tem, ainda, sua variabilidade multiplicada pelas alterações decorrentes da dinâmica, apontam para a necessidade de análises específicas diante de diferentes objetivos.

É dentro desse contexto, marcado por tal variedade, que a utilização da surdina nos instrumentos de arco apresenta-se, possibilitando diferentes alterações no timbre dos mesmos. Amplamente empregada na música orquestral e, também, na de câmara, como um recurso capaz de criar “atmosferas” muito distintas da sonoridade típica das cordas.

Apesar, porém, de alterar bastante a sonoridade dos instrumentos de arco em geral e, conseqüentemente, das cordas da orquestra, tanto em relação à intensidade quanto em relação ao timbre, não se observa maior cuidado com a utilização da surdina, ou preocupação com os diferentes efeitos que pode produzir de acordo com suas características físicas e, portanto, com o impacto que pode causar na sonoridade de diferentes conjuntos instrumentais. Principalmente se levar-se em consideração que a gama de efeitos produzida pelos distintos tipos de surdinas disponíveis no mercado é enorme. É surpreendente que não se veja discussões, com raras exceções (dentre as quais se pode citar o cuidado de grupos especializados em Performance Historicamente Informada (PHI) com sua instrumentação), quanto à uniformização do uso do dispositivo em um mesmo conjunto. É praxe que instrumentistas de um mesmo grupo escolham suas surdinas individualmente, sem a preocupação com uma definição comum por um determinado tipo de surdina que, conseqüentemente, traria uma padronização da alteração da sonoridade das cordas. Que, enfim, não se leve em consideração, geralmente, questões relativas a qual tipo de surdina seria mais adequado a um determinado

identificado por meio de uma expressão particular. [...]arcada, diz respeito ao conjunto de sinais gráficos, como ligaduras de arco, pontos e sinais de direção elaborados pelo músico que, combinados, representam a maneira com que o arco deve executar determinado trecho musical. Visualmente, deve-se entender arcada como a sequência de sinais indicativos dos movimentos empregados pelo arco para a execução desse trecho.” (DOURADO, 2008, p. 13). Ou seja, ‘golpes de arco’ seriam as diferentes maneiras com as quais um instrumentista pode utilizar o arco para tocar, obtendo efeitos de ataque e articulação das notas bastante variados, enquanto que as representações gráficas das instruções para o uso dos mesmos seriam denominadas ‘arcadas’; observa-se, porém, que é bastante comum as duas expressões serem empregadas como sinônimos pelos instrumentistas. Há ainda uma outra conotação corrente para ‘arcada’: a ação de, simplesmente, tocar com o arco, ou a emissão de som dela resultante, independente do golpe de arco utilizado, sendo, por exemplo, expressões comuns com esse sentido entre os músicos: “nesse trecho, uma arcada para cima e duas para baixo”, “a segunda arcada deve ser mais acentuada” ou, ainda, comum em aulas, “quatro arcadas inteiras para cada nota da escala”. São exemplos de nomes de golpes de arco: *détaché*, *martelé*, *spiccato*, *sautillé* etc. Os nomes dos mesmos são basicamente em francês e italiano.

repertório, a uma determinada formação, a um dado ambiente de execução, fatores estes que são todos, diretamente, impactados pela escolha feita por um tipo específico de surdina.

Tampouco do ponto de vista da pesquisa acústica tem sido dedicada maior atenção ao dispositivo. Além da sucinta e evidente informação de que altera o modo como o cavalete vibra, fornecida geralmente quando é mencionada, muito pouco material está disponível na literatura acerca do violino sobre as mesmas, quase sempre citadas em artigos apenas como suporte a estudos sobre o cavalete dos instrumentos de arco.

Descrever, por meio de parâmetros objetivos, como, de fato, altera a sonoridade do instrumento, investigar de que maneira as diferentes características físicas das surdinas podem influenciar em seu funcionamento e em seus efeitos, levantando uma base de dados ampla acerca de seu impacto no som do violino é, portanto, objetivo da presente pesquisa. Com isso espera-se que, a partir de tais informações, seu uso artístico possa beneficiar-se de um referencial mais consistente em relação à natureza das alterações produzidas na sonoridade original do instrumento, permitindo assim, aos instrumentistas de cordas, uma maior consciência na hora de escolher uma surdina, diante dos diferentes objetivos e contextos em que pode ser usada.

2 O VIOLINO

2.1 Breve histórico do instrumento

Não há consenso quanto à origem dos instrumentos de cordas friccionadas por arco, mas, a maioria dos pesquisadores considera o mais provável que tenham tido sua origem no oriente, tendo chegado à Europa via Península Ibérica:

Os instrumentos de corda friccionada terão sido nos seus primórdios instrumentos de corda beliscada ou percutida. [...] presume-se que o arco tenha tido a sua origem no início da Idade-Média, séc. V, na Ásia central. É nesta localização e período, que se pensa ter surgido o primeiro instrumento com arco, que viria a possibilitar a evolução tecnológica que culminou no violino actual. É provável que o instrumento tenha partido desta localização em direcção ao seu destino, a Europa. (DAMAS, 2012, p. 20).

Os primeiros violinos, cuja forma veio a se fixar na atual, foram fabricados na Itália no início do séc. XVI. Teriam sido desenvolvidos a partir de instrumentos de cordas friccionadas, já utilizados na Europa, como o *rebec*, a *vielle* e a *lira da braccio*, usados em festas populares, geralmente, associados à dança (CASANOVA, 1987; DAMAS, 2012; ROSSING; MORRISON, 2010).

Duas escolas italianas de luteria tornaram-se célebres: a escola de Brescia, com Gasparo Bertolotti - conhecido como Gasparo Da Salò (1540-1609), e a de Cremona, com Andrea Amati (c.1505-c.1578). Em Brescia, Giovanni Maggini (1580-1630), discípulo de Da Salò, chegou às formas atuais do violino e construiu os primeiros violoncelos. Em Cremona, a família Amati atingiu seu ápice com Nicola Amati (1596-1684), neto de Andrea Amati e mestre de Andrea Guarneri (1626-1698) e Antonio Stradivari (c.1644- 1737). Outro importante *luthier* foi Bartolomeo Giuseppe Guarneri (1698-1744), conhecido como 'del Gesù', neto de Andrea Guarneri. Outros *luthiers* italianos importantes foram Carlo Bergonzi (Cremona, 1683-1747), Giovanni Battista Guadagnini (Piacenza/Milão, 1711-1786), Giovanni Tononi (Bologna, 1650-1713), Giovanni Grancino (Milão, 1637-1709), Domenico Montagnana (Veneza, 1686-1750), Carlos Antonio Testore (Milão, 1693-1765), Sanctus Seraphin (Udine/Veneza, 1699-1758) (DAMAS, 2012). Guarneri del Gesù e Antonio Stradivari permanecem como os dois maiores mitos da arte da luteria italiana de violino de todos os tempos.

Além da Itália, a arte da luteria desenvolveu-se em outros países e regiões, sendo *luthiers* importantes de outras escolas Jacob Stainer (1617-1683), fabricante austríaco da região do Tyrol, Matthias Klotz (1653-1743) e seus filhos, sobretudo Sebastian Klotz (1696-1775), da região de Mittenwald (Alemanha); o modelo desenvolvido por Matthias reunia características já presentes nos violinos de Amati e Stainer. Na França, a 50km da cidade de Nancy, na aldeia de Mirecourt, surgiu uma escola de fabricação de violinos na segunda metade do século XVII, cuja concepção tecnológica diferia daquela dos mestres da escola italiana: os instrumentos ali produzidos possuíam uma sonoridade mais suave, o que lhes valia, eventualmente, críticas quanto à qualidade. Outro importante autor francês foi Nicolas Lupot (Stuttgart/Alemanha, 1758-1824), que se estabeleceu em Paris em 1794, quando começavam a chegar à França violinos italianos, atraindo particular interesse, os instrumentos de Antonio Stradivari. Neste contexto, Lupot teve contato com tais instrumentos, o que lhe permitiu estudá-los em detalhe. Jean Baptiste Vuillaume (Mirecourt, 1798-1875) foi outro construtor de relevo na época. Vuillaume, também estabelecido em Paris, teve contato com os instrumentos italianos e os estudou detidamente, começando a copiá-los. Considera-se que sua habilidade era de tal forma perfeita, que muitas das cópias que fez de alguns dos mestres italianos foram vendidas como instrumentos italianos originais; produziu cerca de três mil instrumentos. Na região onde hoje é a Bélgica, Ambroise de Comble (Ittre/Tournai, 1723-1796), é considerado o primeiro a ter utilizado o modelo de Stradivari, constando, inclusive, ter sido aluno do mesmo. Na Holanda, Theodorus Cuypers (Haia, 1724-1808), foi considerado o nome mais expressivo na arte da luteria. Na Inglaterra, os mais importantes *luthiers* foram Benjamin Banks (Londres, 1750-1795), Richard Duke (Londres, ~ -1780) John Edward Betts (Londres, 1755-1823) e Joseph Hill (Londres, 1715-1784), considerado o mais importante dos fabricantes de violino ingleses. Ele fundou uma dinastia de *Luthiers* que continua até nossos dias, com o nome de Joseph Hill & Sons. (DAMAS, 2012)

2.2 Abordagem científica do instrumento:

Pode-se dizer que o interesse pelo funcionamento dos instrumentos de cordas se iniciou há muitos séculos. Desde as primeiras observações de Pitágoras (séc. VI A.C.), que estabeleceu a matemática na cultura grega e estudou a vibração das cordas e os sons

musicais, tendo concluído que ao se dividir o comprimento de uma corda vibrante por frações simples do mesmo (metades, terços etc.) são produzidos intervalos musicais consonantes (ROSSING; MORRISON, 2010), passando pelos séc. XVI e XVII, quando Galileo Galilei (1564-1642) e Marin Mersenne (1588-1648) destacaram-se como pioneiros na pesquisa científica moderna a respeito da vibração das cordas. Este último, Mersenne, afirmava já então, ser possível escutar-se, pelo menos, quatro harmônicos a partir de uma corda em vibração. Em sua obra *Harmonie universelle: contenant la théorie et la pratique de la musique* (MERSENNE, 1636) o teórico francês descreve de maneira detalhada os instrumentos do seu tempo, inclusive o violino. A ação de aderência e deslizamento (*stick/slip*) do arco nas cordas parece ter sido reconhecida primeiro por Jean-Marie Duhamel (FLETCHER; ROSSING, 2012).

O violino especificamente, desde o séc. XIX, tem sido alvo de inúmeras pesquisas e trabalhos científicos e seu funcionamento acústico vem sendo descrito, em suas várias facetas, desde então. São nomes importantes na pesquisa acerca do instrumento: o físico francês Félix Savart (1791-1841), considerado um dos pioneiros na matéria, que trabalhou, por vezes, em colaboração com o renomado *luthier* Jean-Baptiste Vuillaume (1798-1875); o fisiologista e físico alemão Hermann von Helmholtz (1821-1894), que elucidou a natureza da vibração da corda excitada por um arco (*bowed string*), diferenciando-a daquela produzida pela corda tangida (*plucked string*) – dentre inúmeras outras contribuições na área da acústica; sua obra “*On the Sensations of Tone as a Physiological Basis for the Theory of Music*” (original em alemão “*Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik*”, publicado pela primeira vez em 1863) é considerada um marco no desenvolvimento da área; Lord Rayleigh (John William Strutt, 1842-1919), que estabeleceu as bases da pesquisa moderna da acústica de instrumentos musicais; o indiano Chandrasekhara V. Raman (1888-1970), que estudou detalhadamente as vibrações resultantes da corda excitada por um arco; Frederick Albert Saunders (1875-1963) que foi pioneiro nos Estados Unidos nas pesquisas acerca do instrumento, tendo fundado em 1963, junto a Carleen Hutchins, John Schelleng e Robert Fryxell a *Catgut Acoustical Society* (CAS), organização que promoveu a pesquisa a respeito do instrumento por todo o mundo, contando, entre seus feitos, com o desenvolvimento do octeto de violinos, um conjunto em escala de oito instrumentos constituindo uma nova família para o violino (HUTCHINS, 1967 apud

FLETCHER; ROSSING, 2012); e, mais recentemente, Lothar Cremer (1905-1990), cuja obra, *The Physics of the Violin*, de 1981, um compêndio que abarca todo o conhecimento físico sobre a acústica dos instrumentos de cordas, reunido desde o século XIX, se destaca. Atualmente, com o grande desenvolvimento da tecnologia digital ocorrido nas últimas décadas, inúmeras novas ferramentas foram disponibilizadas para esse campo de pesquisa, auxiliando nas atividades de vários estudiosos que trabalham na caracterização e modelagem das propriedades acústicas do violino, dentre os quais se pode citar: George Bissinger e Robert Schumacher (EUA), Erik Jansson (Suécia), Collin Gough e Jim Woodhouse (Grã Bretanha), Xavier Boutillon (França), John McLennan (Australia) e Akihiro Matsutani (Japão) (DONOSO et al., 2008).

2.3 Características físicas do violino

Instrumento de cordas friccionadas, o violino é classificado dentro da sistemática Hornbostel/Sachs⁶, sob o código 321.322-71, como um cordofone composto, organicamente construído com um ressonador acoplado a um braço, pertencendo ao grupo dos alaúdes (instrumentos com as cordas dispostas paralelamente à caixa de ressonância) com braço integrado ao corpo, sendo a fricção das cordas, por meio de um arco, o mecanismo principal para geração do som (MIMO CONSORTIUM, 2011).

Membro mais agudo da família das cordas friccionadas modernas, possui quatro cordas, contadas da mais fina para a mais grossa⁷, afinadas por quintas justas: 1^a Mi5: 659,26 Hz; 2^a Lá4: 440 Hz; 3^a Re4: 293,66 Hz; e 4^a Sol3: 196 Hz⁸. Sua extensão usual (cerca de quatro oitavas) vai do Sol3 ao Lá6/Si6 (7^a posição), embora alcance ainda quase uma

⁶ Os pesquisadores Erich M. von Hornbostel e Curt Sachs formularam, em 1914, o esboço de uma sistemática para os instrumentos musicais, que, diferentemente de uma classificação, procura ordenar os elementos existentes de um conjunto de grandezas relacionadas, estabelecendo os critérios em que se encaixam estes elementos, formando a *priori* – e não a *posteriori*, como a classificação – um quadro total e de validade geral, para todas as variantes possíveis, inclusive, para aquelas ainda não verificáveis na prática. Apesar de quase centenária, até hoje, é uma referência importante no estudo antropológico dos instrumentos musicais. (PINTO, 2001)

⁷ “A numeração das cordas, em todos os instrumentos, quer de arco, quer de cordas *pizzicatas*, isto é, feridas diretamente com o dedo ou com um plectro, procede sempre da mais aguda para a mais grave.” (MAGNANI, 1989, p. 242)

⁸ Será adotada em toda a dissertação a numeração de oitavas da escala geral americana, que atribui ao Dó central, o número 4, em vez de 3, como no Brasil. A escolha por essa numeração é devido ao fato da imensa maioria das pesquisas relativas à acústica dos instrumentos musicais, incluído o violino, ser publicada em inglês adotando, portanto, tal numeração de oitavas.

oitava acima, porém, de uso mais restrito devido às dificuldades técnicas para emissão do som nessa região.

Construído com cerca de 80 peças (BRITO; BRITO, 2009; REBELLO, 2011), quase todas de madeira, de diferentes espécies, escolhidas de acordo com sua função, o instrumento, de montagem aparentemente simples, constitui um exemplo de excepcional excelência em termos de design artístico e técnica (fig. 2.1), como observa Donoso:

A forma do instrumento constitui um exemplo de desenho do renascimento italiano, com as considerações de equilíbrio de superfícies e de volumes típicas da época. Aparentemente, as dimensões dos violinos e violoncelos seguem a relação de proporções matemáticas conhecidas como “proporção áurea”. (DONOSO et al., 2008, p. 2305-3)

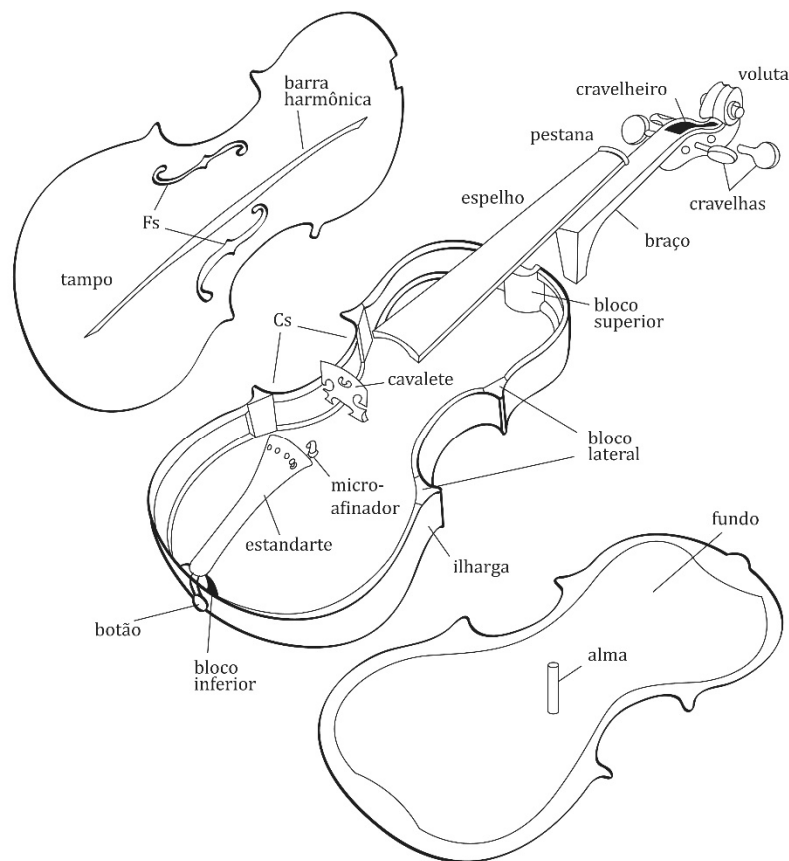


Figura 2.1 – Esquema representando as partes básicas de um violino.
(fonte: ilustração de Rubem Filho, adaptada de GUILLOUX, 1996)

A parte principal de seu corpo é constituída por uma estrutura oca (a caixa de ressonância) cuja parte superior é conhecida como tampo e a inferior como

fundo. O tampo é, tradicionalmente, feito com abeto (*Picea abies* ou *Picea excelsis*), madeira muito elástica, firme e resistente; o fundo utiliza em sua fabricação duas espécies de aceráceas, *Acer campestre* e *Acer platanoides*, que apresentam densidade e rigidez maiores que as do abeto. As duas superfícies são arqueadas, unidas perifericamente pelas ilhargas (tiras de madeira que compõem as laterais do instrumento, vide fig. 2.1). No tampo superior são feitos dois orifícios na forma de *fs* estilizados, localizados, simetricamente, aos lados do cavalete. A forma destas aberturas, que tem uma grande influência no timbre do violino, pode ter sido influenciada pela tipologia cursiva, também conhecida como itálico, que foi inventada pelo tipógrafo italiano Aldo Manuzio (1450-1515) (DONOSO et al., 2008).

Embora as dimensões dos violinos variem um pouco, de acordo com os diferentes construtores, o comprimento longitudinal da caixa é geralmente de cerca de 35 cm, com dois recortes (enfranques) ao meio, conhecidos como *Cs* (responsáveis por permitir que o arco alcance as cordas sem esbarrar na caixa de ressonância), tendo a porção menor, em média, 16 cm de largura e a maior cerca de 20 cm. A espessura do tampo superior varia de 2,0 a 3,5 mm, e do fundo de 2,0 a 6,0 mm. As ilhargas têm por volta de 30 a 32 mm de altura (medida importante por influenciar diretamente a quantidade de ar encerrada dentro da caixa de ressonância). A altura máxima do abaulamento em ambas as placas (tampo e fundo) é, geralmente, de cerca de 15 mm (FLETCHER; ROSSING, 2012). Em determinados pontos do interior das ilhargas, reforçando-as, principalmente onde se fixa o braço, existem seis peças de madeira, denominados blocos. O braço é ligado à caixa de ressonância, feito de uma só peça. Em sua parte final, onde se fixam as cordas, está o cravelhame (estrutura na qual se encaixam as cravelhas), que termina com uma forma em espiral, a voluta, peça decorativa, cujos detalhes variam de acordo com o *luthier*. Cobrindo o braço existe uma peça que se projeta além deste, sobre a caixa de ressonância, chamada espelho. As cordas são presas a uma peça aproximadamente triangular, denominada estandarte, fixa ao tampo por meio do rabicho ligado a ela, que se prende ao botão, e são sustentadas pelo cavalete, estendendo-se ao longo do braço até o seu extremo, onde tocam uma peça designada pestana (pequena barra colocada transversalmente na extremidade do

espelho, levemente elevada em relação ao plano deste, com pequenos sulcos onde as mesmas se encaixam). É comum ser instalado um dispositivo móvel (pequena alavanca regulada por um parafuso) para auxiliar na afinação das cordas, chamado micro afinador, acoplado aos orifícios do estandarte, nas cordas Lá e Mi (às vezes apenas na Mi, o seu uso altera ligeiramente a sonoridade do instrumento, motivo pelo qual somente iniciantes utilizam micro afinadores nas quatro cordas). Para se estabelecer a afinação, as cordas são tensionadas pelas cravelhas, que são apenas encaixadas nos orifícios abertos lateralmente no cravelhame (podem ser retiradas quando sem as cordas). As cravelhas possuem as hastes ligeiramente cônicas, permitindo o aperto nos respectivos orifícios do cravelhame. Todas essas peças e partes estão discriminadas na fig. 2.1. O botão, o estandarte com o rabicho, o cavalete e as cravelhas não são fixos ao restante do corpo do instrumento, sendo mantidos em suas respectivas posições pela ação da tensão das cordas, ao se montar o instrumento. Há, ainda, uma peça de função ergonômica denominada queixeira, que é fixada no tampo na região em que o instrumentista encosta o queixo, para apoiar o instrumento entre este e o ombro, de maneira mais confortável. Tradicionalmente, é utilizado na fabricação do estandarte, do botão, do espelho e das cravelhas, peças que requerem maior densidade e dureza, o ébano (*Diospyros ebenun*), madeira negra, conhecida por sua grande densidade e extrema dureza (BRITO; BRITO, 2009).

2.4 O arco do violino

O arco dos instrumentos de cordas é formado por uma vareta de madeira⁹ trabalhada de maneira a manter uma curvatura convexa e permitir que seja tensionada por um feixe de cerca de 150 cerdas de cauda de cavalo¹⁰, que é comumente chamado, pelos instrumentistas, de crina. Na sua parte inferior (denominada talão) é instalado um

⁹ Atualmente existem arcos feitos com materiais alternativos, principalmente, fibra de carbono, mas, os produtos artesanais tradicionais, feitos com pau-brasil, continuam tendo a preferência da imensa maioria dos instrumentistas.

¹⁰ Da mesma maneira, existem materiais sintéticos que são empregados para substituir a crina natural, tipicamente utilizados em arcos produzidos industrialmente, sobretudo na China. Entretanto, tais materiais sintéticos não são considerados substitutos equivalentes à crina natural por instrumentistas profissionais e seu uso é, praticamente, restrito a iniciantes.

mecanismo móvel (por meio de um parafuso), que permite o ajuste da tensão do feixe de cerdas. A grossura, o peso e o comprimento da vareta variam de acordo com o instrumento ao qual se destina, sendo mais curtos e grossos os arcos destinados aos instrumentos mais graves, que possuem maior porte e cordas consideravelmente mais grossas, como o violoncelo e o contrabaixo (cujo o arco é o mais curto e pesado dentre todos). Entre os de violino e os de viola a diferença é menor, mas ainda presente.

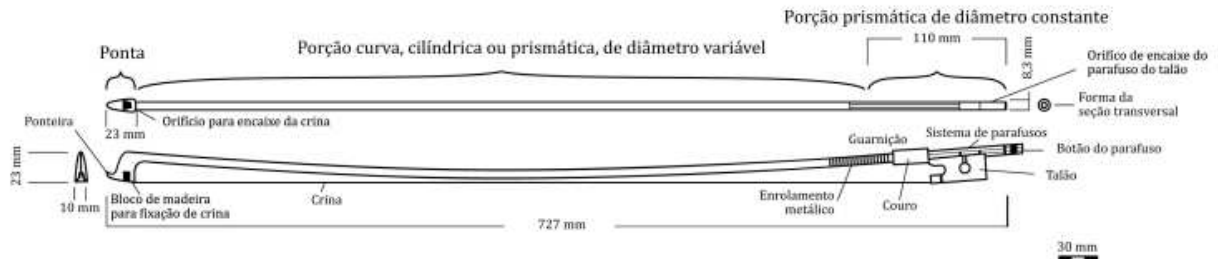


Figura 2.2 – o arco moderno e suas partes.
(fonte: ilustração de Rubem Filho, baseada em FOMIN, 2018)

Atualmente, o comprimento total do arco de violino (fig. 2.2), incluindo o botão do parafuso, é de 74 a 75 cm, aproximadamente, com o ponto de equilíbrio do mesmo a cerca de 19cm do talão, sendo a extensão útil da crina de 65 cm, com a largura da faixa da mesma fixada em cerca de 1,1 cm. A orientação das escamas naturais dos fios (ou cerdas) da cauda de cavalo determina a fricção da crina com as cordas, por isso, metade do feixe é orientado em um sentido e a outra metade no sentido contrário, de maneira a se obter a mesma fricção independentemente da direção do movimento do arco. Como as escamas desgastam-se, naturalmente, com o uso, a crina deve ser substituída regularmente para que se mantenha a qualidade do arco. Usa-se passar na crina, ao tocar, uma resina obtida de pinheiros e outras plantas coníferas, formalmente denominada colofone¹¹, que possui o aspecto de um sólido quebradiço, de um amarelo escuro semitransparente, cuja função é aumentar a fricção entre as cerdas da crina e as cordas dos instrumentos (DONOSO et al., 2008).

Os arcos, atualmente, são feitos, preferencialmente, com a madeira do pau-brasil (*Caesalpinia echinata*), também denominada madeira de Pernambuco, que é tida, em todo

¹¹ No dicionário Houaiss constam apenas as palavras colofônia/colofônio, que remetem ao verbete breu, que tem como primeira definição; “1. Rubrica: química. Sólido escuro, inflamável, obtido a partir de secreções resinosas de várias plantas, esp. de coníferas (*Pinus palustris* etc.), ou da destilação do alcatrão; breu de colofônia, colofônia, colofônio”. (HOUAISS, 2009)

o mundo, como o melhor material para a sua confecção, por reunir características ideais de resistência, peso apropriado, densidade e capacidade de manter a extensão da curvatura, além da beleza das peças criadas por bons *archetiers*¹².

Ao longo da história dos instrumentos de arco, porém, este teve um longo caminho de evolução (fig. 2.3), até chegar ao modelo atual:

De acordo com Retford (1964), a manufatura de arcos como arte especializada teve sua origem no século XVIII, na França, na oficina de Tourte “O Velho”. Aparentemente pouco se sabe dos seus predecessores; há poucos registros dos primórdios da história do arco e sua origem precisa é desconhecida; os registros mais antigos vêm da cultura árabe e bizantina e datam do século X. Com relação às madeiras empregadas, Pierce (2002) informa que antes da metade do século XVIII eram usadas várias espécies tropicais, incluindo o pau-brasil. Segundo Richter (1988), o pau-brasil já era conhecido no mercado europeu por volta de 1550, quando os primeiros violinos, com a forma dos utilizados atualmente, foram construídos por G. Bartoletti de Saulo, em Bréscia na Itália. Entretanto, foram os irmãos Tourte, em Paris, que consagraram o pau-brasil como material ideal para a confecção de arcos. (ANGYALOSSY; AMANO; ALVES, 2005, p. 820)

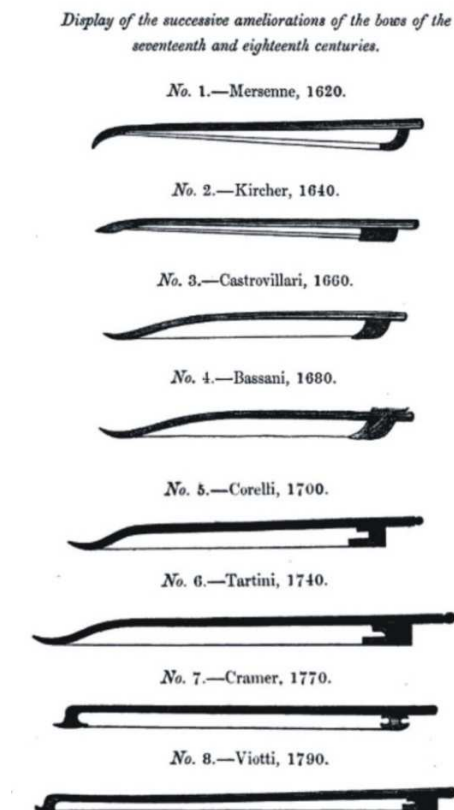


Figura 2.3 – a evolução do arco do violino do séc. XVII ao XVIII. O último é o arco moderno, desenvolvido por Tourte por volta de 1785, também conhecido como arco Viotti.
(fonte: FETIS; STRADIVARI, 1864, p.112)

¹² Artesão especializado na confecção de arcos para os instrumentos de cordas.

O arco moderno (fig. 2.2, e o número 8 da fig. 2.3), utilizado hoje, foi desenvolvido primeiramente por François Xavier Tourte (1747-1835), por volta de 1785. Junto ao violinista italiano Giovanni Battista Viotti (1755-1824), os dois são considerados os grandes responsáveis pela consolidação do modelo, que se tornou referência para as futuras gerações de *archetiers*. Devido à atuação de Viotti, um dos primeiros a adotarem o modelo, alguns estudiosos chamam o arco criado por Tourte de arco Viotti. A sua principal diferença é a curva inversa em relação aos modelos antigos. Ao alterar a curvatura da madeira, tornando-a convexa, com a barriga da curva em direção à crina, a vareta tornou-se dotada de maior tensão e flexibilidade (DOURADO, 2008). Devido às suas características de resistência, leveza e elasticidade, tornou-se o modelo ideal para a execução da grande variedade de golpes de arco exigidos pela técnica dos instrumentos de cordas friccionadas a partir de fins do séc. XVIII (FOMIN, 2018). O *luthier* francês Jean-Baptiste Vuillaume (1798- 1875), também *archetier*, é citado como tendo contribuído com o desenvolvimento do arco ao estabelecer a espessura, o peso e a curvatura ideais da vareta do arco (BRITO; BRITO, 2009).

Além da qualidade do arco estar diretamente relacionada à tocabilidade (facilidade e eficiência para a execução técnica de um instrumento), as características físicas do mesmo (como natureza da madeira, largura do feixe de crina, qualidade e tempo de uso da crina, curvatura e tensão ajustada à mesma, além do emprego da resina) influenciam diretamente nas características acústicas do som obtido (ASKENFELT, 1995; CAUSSÉ et al., 2001; FLETCHER; ROSSING, 2012; GOUGH, 2011; SCHOONDERWALDT; GUETTLER; ASKENFELT, 2003), motivo pelo qual os instrumentistas de cordas dão grande importância à escolha de um bom arco. Da mesma forma, pesquisas científicas devem considerá-lo como um fator de relevância no som obtido ao se tocar um instrumento de cordas friccionadas.

2.5 Elementos da acústica do violino

2.5.1 Natureza do movimento ondulatório da corda friccionada por arco: Movimento de Helmholtz

O primeiro a estudar a vibração produzida numa corda friccionada por um arco foi Hermann von Helmholtz (1821 – 1894) que, utilizando um aparato experimental por ele nomeado “*vibration microscope*” (uma objetiva de microscópio acoplada a um diapasão de garfo), observou o movimento de uma partícula colada na corda de um violino e concluiu que o mesmo é muito diferente da vibração observada nas cordas tangidas (HELMHOLTZ, 1883-1954).

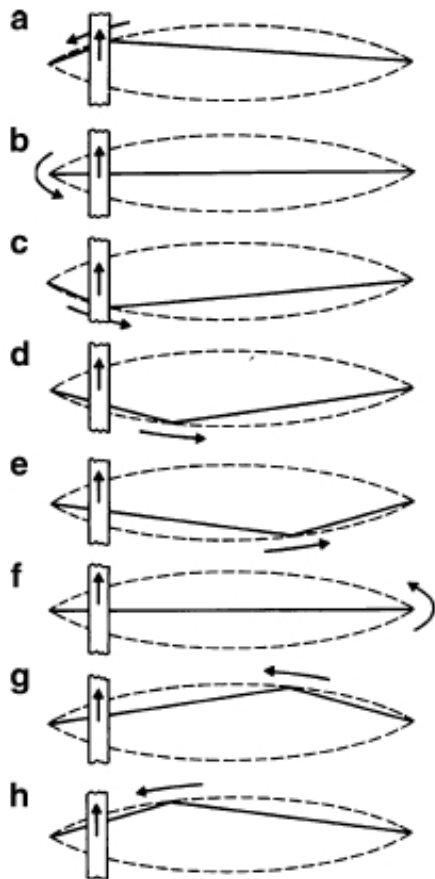


Figura 2.4 – corda friccionada: movimento de Helmholtz.
(fonte: ROSSING; MORRISON, 2010, p. 199)

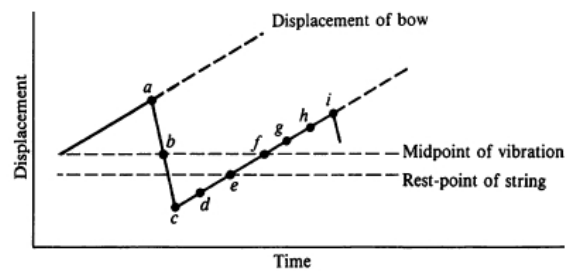


figura 2.5 – direção do deslocamento da corda ao longo do tempo.
(fonte: ROSSING; MORRISON, 2010, p. 198)

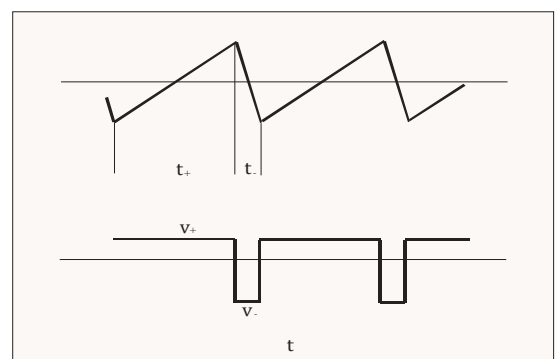


Figura 2.6 – Funções de deslocamento e velocidade em uma dada posição ao longo da corda, de acordo com as observações de Helmholtz;
(fonte: CREMER, 1984, p. 37)

O movimento transversal de uma corda excitada por um arco (friccionada) apresenta-se formado por dois segmentos retos unidos em um ponto de dobra (fig. 2.4), o qual percorre toda a corda e é refletido em suas extremidades. A velocidade em que isso ocorre não permite que se veja esse movimento da corda. Assim, percebe-se, apenas, dois arcos parabólicos (linhas pontilhadas na fig. 2.4) resultantes do movimento completo. O ponto de dobra desloca-se em sentido anti-horário quando a direção da arcada é para cima e em sentido horário quando a direção da arcada é para baixo (ROSSING; MORRISON, 2010, p. 288).

Para se estabelecer o movimento de Helmholtz (figs. 2.4 e 2.5) é necessário um mecanismo do tipo "prende-desliza" (*stick-slip*): inicialmente, o arco "captura" a corda e a leva consigo, ou seja, o ponto de contato entre o arco e a corda se movimenta na mesma direção que este, com a mesma velocidade com a qual o instrumentista o conduz (quadros "c" ao "i" da fig. 2.4, cujo deslocamento da corda correspondente é indicado com as mesmas letras na fig. 2.5); em seguida, a força restauradora aplicada na corda torna-se muito grande e, conseqüentemente, ela se desprende da crina, deixa de estar aderida ao arco, e desliza rapidamente na direção contrária ao deslocamento do mesmo (quadros "a" ao "c" da fig. 2.4, com o correspondente deslocamento da corda indicado com as mesmas letras na fig. 2.5) (DONOSO et al., 2008; ROSSING; MORRISON, 2010). Na sequência, a corda é "capturada" de novo pelo arco e recomeça todo o ciclo. Pode-se observar, na fig. 2.6, que a fase de aderência da corda ao arco (t_+) é muito maior do que a fase de deslizamento (t_-); conseqüentemente, a velocidade de deslocamento negativa (v_-), quando a corda movimenta-se em direção contrária à do arco, é muito maior do que a velocidade de deslocamento positiva (v_+), que ocorre quando o movimento da corda acompanha o sentido daquele do arco.

2.5.2 Ressonância de Helmholtz

Os dois orifícios em forma de "f" permitem considerar que a caixa de ressonância do violino se comporta, numa primeira aproximação, como um ressoador de Helmholtz (fig. 2.7). A frequência da ressonância dessa cavidade depende, entre outros fatores, do volume de ar encerrado na mesma, no caso do violino, aproximadamente 2.400 cm³. Essa Ressonância de Helmholtz é nomeada, também, como *f-hole resonance*, *cavity resonance*,

breathing mode ou *main air resonance*. Na nomenclatura acústica é designada como A_0 , (*first air mode*) situada entre 270 e 280 Hz. Seu efeito mais importante é reforçar significativamente a sonoridade da nota da terceira corda do violino, Ré₄ (293,66 Hz). (DONOSO et Al.,2008)

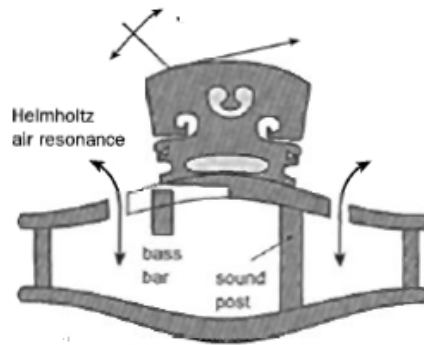


Figura 2.7 – Corte esquemático do violino representando a Ressonância de Helmholtz. (fonte: adaptado de GOUGH, 2000, p. 57)

2.5.3 Modos de vibração do corpo

Modos normais de vibração são as diferentes maneiras pelas quais uma estrutura vibra. Os modos normais de vibração de um violino são determinados, principalmente, pelos movimentos acoplados do tampo, do fundo e do ar contido na caixa de ressonância. Participam também, de maneira menos significativa, as ilhargas, o braço e o espelho, além de outras partes, num sistema de acoplamento complexo.

O tampo e o fundo dos violinos são cuidadosamente trabalhados pelos *luthiers* para que se comportem como autênticas tábuas harmônicas, com modos normais de vibração cujas frequências formem uma sequência harmônica (ou seja, que as frequências das parciais superiores sejam, aproximadamente, múltiplos inteiros de uma frequência fundamental).

Esses modos normais de vibração do tampo e do fundo podem ser visualizados pelo método de Chladni (fig. 2.8). Foi o método utilizado por Savart em 1830, por exemplo, para determinar a diferença tonal na frequência fundamental de afinação das placas superior e inferior dos violinos analisados por ele. Os modos normais de vibração envolvem movimentos acoplados dos tampos superior e inferior, denominados modos do

corpo (C_n): no modo mais baixo (C_1) o violino vibra num modo semelhante ao de uma barra livre. Nos próximos três modos, em 405, 530 e 690 Hz, C_2 , C_3 e C_4 , os tampos se movem em fase. Nos bons violinos o modo C_3 é o principal parâmetro da resposta de baixas frequências (DONOSO et al., 2008; FLETCHER; ROSSING, 2012).

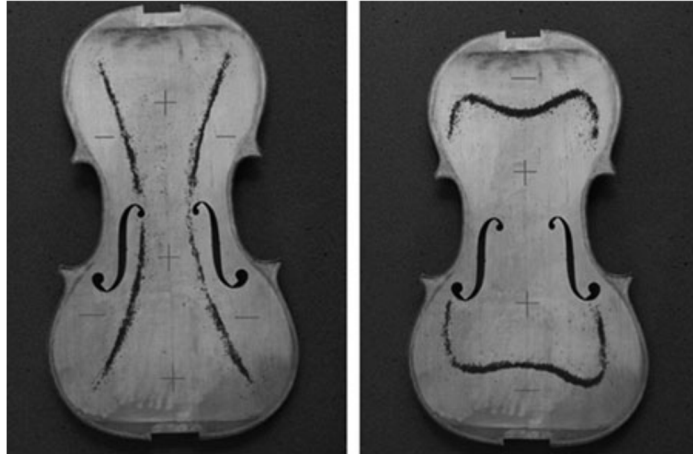


Figura 2.8 – Visualização dos modos 2 (esquerda) e 5 (direita) de um típico tampo de violino. O mesmo é polvilhado com limalha e suspenso sobre um alto-falante ligado a um gerador de ondas senoidais. Quando a frequência atinge a mesma de um dos modos do tampo, este vibra vigorosamente, provocando o agrupamento da limalha ao longo das linhas nodais.

(fonte: ROSSING; MORRISON, 2010, p. 228)

Nos bons instrumentos existem duas ressonâncias cujas frequências correspondem às notas com as quais as duas cordas centrais do violino são afinadas. A primeira delas corresponde a um modo de vibração do tampo superior (modo T_1) que coincide com a frequência da nota Lá (440 Hz), afinção da segunda corda, e a outra ressonância, correspondente à frequência natural de vibração do ar encerrado na caixa acústica (chamado modo A_0), que coincide com a da nota Ré (294 Hz), terceira corda (fig. 2.9), como já observado na seção anterior. Pode-se afirmar que nos bons instrumentos essas duas frequências devem estar separadas pela distância de uma quinta. (DONOSO et al., 2008; ROSSING; MORRISON, 2010)

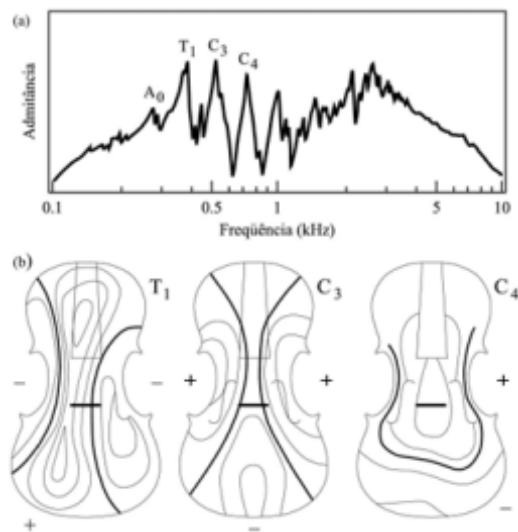


Figura 2.9 – Resposta acústica de um Guarneri del Gesù: ressonâncias do ar (A_0), do tampo superior (T_1) e do corpo (C_3 e C_4), além das ressonâncias em torno de 2.5 KHz do cavalete (*bridge hill*). (DONOSO et al., 2008, p. 2305-10)

2.5.4 A caixa de ressonância e seus componentes internos

Com uma aparência externa simétrica, o violino tem suas propriedades acústicas fortemente influenciadas por dois elementos ocultos no interior da caixa de ressonância (figs. 2.7 e 2.11), que criam uma forte assimetria acústica, a alma e a barra harmônica (FLETCHER; ROSSING, 2012):

- Barra Harmônica (*Bass Bar*): pequena ripa de madeira colada na superfície interna do tampo, logo abaixo de um dos pés do cavalete, no lado das cordas graves. Feita de abeto e posicionada longitudinalmente, no mesmo sentido das cordas, essa peça tem a função acústica de maximizar a área do tampo que oscila em fase (que se move ao mesmo tempo), o que é particularmente interessante para os sons graves. Possui,

ainda, uma função estrutural: suporte mecânico ao corpo do instrumento, ajudando o tampo a suportar parte da força exercida pelas cordas tensionadas (fig. 2.10).



Figura 2.10 – Imagem de um tampo de violino expondo a barra harmônica.
(fonte: internet, sem autoria)

- Alma (*Sound Post*): é um cilindro de madeira de abeto posicionado (não pode ser colado) entre os dois tampos, logo abaixo do pé do cavalete, no lado das cordas agudas. Mesmo pequenas alterações em sua posição ou forma podem alterar significativamente o timbre e a sonoridade do instrumento. A alma modifica os modos de vibração de ambos os tampos;

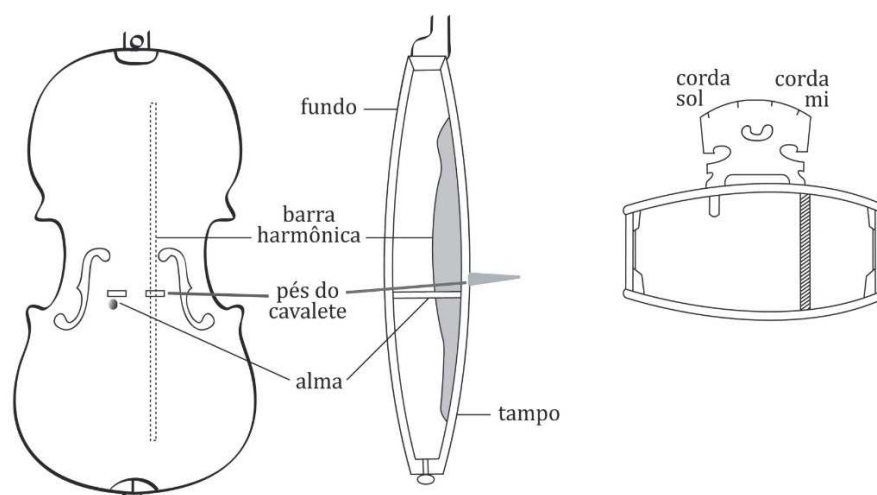


Figura 2.11 – caixa de ressonância do violino, detalhe para alma e barra harmônica.
(fonte: ilustração de Rubem Filho)

2.5.5 O cavalete



Figura 2.12 - Violino montado com cavalete de modelo antigo e cordas de tripa, acervo da Fondazione Museo del Violino Antonio Stradivari, em Cremona.

(fonte: foto de dezembro de 2017 feita pelo Prof. Doutor Maurício Freire Garcia, orientador da pesquisa, cedida pelo mesmo)

Peça de formato bem característico (figs. 2.12, 2.13 e 2.14), tem como principal função transformar o movimento de vibração das cordas – dispostas paralelas ao tampo superior - em forças a serem transmitidas pelos dois pés, perpendiculares ao tampo superior do instrumento. Ou seja, trata-se de um transdutor mecânico, cuja função é "girar" a força transversal das cordas em vibração, transformando-a em forças normais aplicadas ao tampo do instrumento. Sua porção superior é curva, ligeiramente mais alta do lado das cordas graves, com quatro entalhes para as mesmas, permitindo que estas sejam tangidas pelo arco separadamente ou de duas em duas ao mesmo tempo. Os *luthiers* sabem, há séculos, que pequenas mudanças no cavalete podem produzir efeitos radicais na sonoridade do instrumento, e são muito cuidadosos em relação aos detalhes de

espessura, peso e proporções da peça (DONOSO et al., 2008; ROSSING; MORRISON, 2010). Savart observa:

If we take a piece of wood cut like a bridge and glue it on to a violin, the instrument will have almost no sound; it begins to improve if feet are formed on the bridge; if we make two lateral slots, the quality of sound takes on increasing value as we cut the bridge completely to the usual form. It is astonishing that by feeling our way we have arrived at the shape currently used, which seems to be the best of all that could be adopted.¹³ (SAVART, 1840 apud FLETCHER; ROSSING, 2012, p. 297)



Figura 2.13 – Cavalete de violino atual visto de frente. O orifício central é conhecido como coração e os laterais como ouvidos, embaixo, os pés. (fonte: internet, sem autoria)

Ao longo da história o cavalete teve seu desenho definido pela funcionalidade de suas características acústicas e também por fatores estéticos, tendo alterado bastante seu aspecto ao longo do tempo (vide figs. 2.12 e 2.14). Tais mudanças foram, em grande parte, devidas às alterações sofridas pelo instrumento à medida que o desenvolvimento musical ocidental apresentava novas situações de uso, sobretudo, a busca por uma maior intensidade sonora, que levou ao aumento da tensão das cordas e conseqüentemente necessidade de reforço de vários componentes da estrutura do instrumento, principalmente, com o advento das cordas de metal, como descrito por Damas:

Durante o período compreendido entre os séculos XVI e XIX, ao nível da forma, o cavalete sofreu uma alteração, que se revelou simultaneamente estética, fisionômica e funcional. A forma barroca do cavalete tinha orifícios bastante grandes, o que resultava numa estrutura bastante frágil quando sujeita a grandes

¹³ “Se pegarmos um pedaço de madeira cortado como um cavalete e o colarmos em um violino, o instrumento quase não terá som; começa a melhorar se os pés são feitos no cavalete; se fizermos os dois ouvidos laterais, a qualidade do som aumenta de qualidade conforme nós cortamos o cavalete completando o seu formato usual. É surpreendente que por meio de nossas sensações, nós tenhamos chegado à forma usada atualmente, que parece ser a melhor dentre todas as que poderiam ser adotadas.” (tradução nossa)

pressões. Com o aparecimento das cordas metálicas, o cavalete passou a ser sujeito a uma pressão ainda superior, e foi por isso necessário redesenhar um cavalete mais sólido, com orifícios mais pequenos que tornavam o cavalete mais capaz de resistir à forte tensão das novas cordas. Este novo modelo foi adoptado pelos Luthiers da segunda metade do século XVIII. Estas alterações, tal como as alterações realizadas no braço do violino [...] foram consequência dos requisitos dos novos repertórios. Outra alteração na evolução do violino foi a localização do cavalete no tampo superior, o cavalete era colocado mais perto do estandarte, ou mais perto do ponto, a determinação da sua localização dependia de onde era conseguido o melhor resultado sonoro. A posição do cavalete nos primeiros violinos não era *standard*, no entanto, com a evolução dos estudos científicos e com o início da utilização do novo modelo de cavalete implementado por Gesù, determinou-se que a sua posição deveria ser entre os efes (aproximadamente a meio). Esta localização permanece. (DAMAS, 2012, p.28)

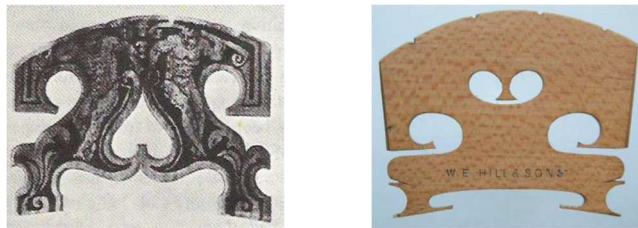


Figura 2.14 - Na imagem do lado esquerdo, cavalete de Antonio Stradivari; do lado direito cavalete moderno. Estes foram os principais modelos de cavaletes usados ao longo da história do violino. (fonte: DAMAS, 2012, p. 29)

Assim como a alma, o cavalete não é fixado à estrutura do violino, sendo mantido na posição definida sobre o tampo apenas pela tensão das cordas, para que o seu comportamento vibracional não seja prejudicado. Possui modos de vibração próprios, que não se limitam a seu plano, mas, incluem vibrações longitudinais e de torção. A porção superior da peça é separada da inferior por uma estrutura delgada, formada pelos ouvidos (os dois orifícios laterais da peça), que cria as condições para uma ressonância específica, ao atuar como uma mola, permitindo à porção superior oscilar lateralmente (fig. 2.15). Essa ressonância, conhecida por *bridge hill* é observada em 3.000 Hz, aproximadamente, frequência esta que coincide com a região de maior sensibilidade do ouvido humano, refletindo na resposta acústica do instrumento, que apresenta um pico característico nessa faixa de frequências. Acredita-se que essa ressonância, o *bridge hill*, envolva movimentos cooperativos entre o tampo superior do violino e o cavalete. Dentre vários outros modos de vibração, destaca-se, notadamente, um segundo modo, observado em cerca de 6.000 Hz, relacionado ao movimento vertical representado na fig. 2.15. Alguns

autores situam essa ressonância na faixa dos 4.500 Hz. (ROSSING; MORRISON, 2010; DONOSO et al.,2008)

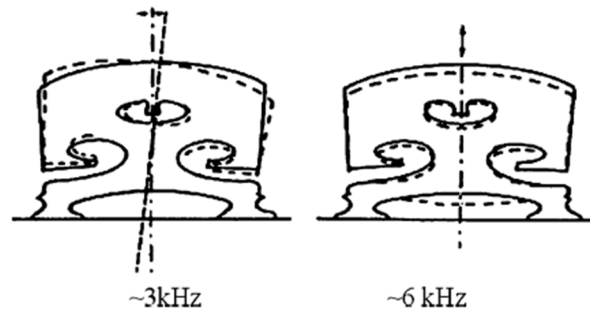


Figura 2.15 – representação dos dois principais modos de vibração do cavalete; à esquerda a oscilação lateral da porção superior da peça, na faixa dos 3.000 Hz, conhecida como *bridge hill*. À direita, a ressonância característica da oscilação vertical. Alguns autores a localizam na faixa de 4.500 Hz em vez de 6.000 Hz.
(fonte: ROSSING; MORRISON, 2010, p. 231)

Outro estudo que sugere a importância do *bridge hill* foi feito por Jansson, que comparou a resposta acústica de 25 violinos de alta qualidade (feitos entre 1730 e 1894) criados por *luthiers* de diferentes países: Itália, França, Holanda e Alemanha (fig. 2.16). A pesquisa identificou, na quase totalidade dos instrumentos, as ressonâncias dos modos A_0 , C_2 , C_3 e T_1 , além de um *bridge hill* pronunciado, tendo o pesquisador concluído, então, que a presença de tal ressonância, junto à do modo C_3 , seriam as características mais significativas da resposta acústica de um violino de qualidade superior. Em outro estudo de 1982, junto a Moral, feito com um violino Guarneri, os resultados são compatíveis com os da pesquisa anterior, como pode ser observado na fig. 2.17 (destaque da fig. 2.9) (ROSSING; MORRISON, 2010).

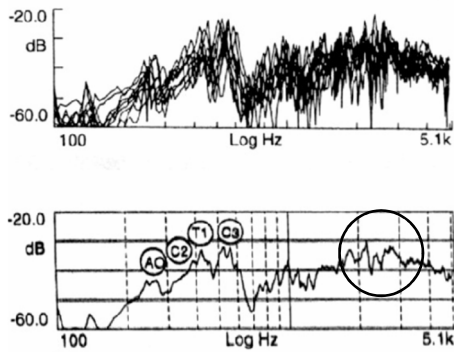


Figura 2.16 – Análise de Jansson de 25 violinos de alta qualidade. Na figura inferior, o círculo (destaque nosso) delimita a região do *bridge hill*.
(fonte: JANSOON, 1997 apud DONOSO et al.,2008)

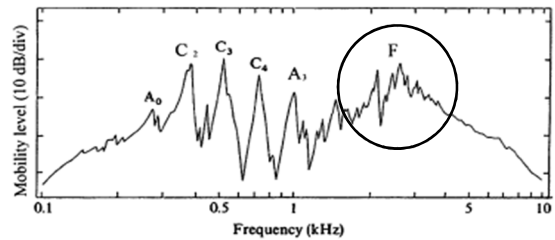


Figura 2.17 – Mobilidade do cavalete de um violino Guarneri onde se percebe a correspondência dos modos de vibração de Jansson. A letra F indica o *bridge hill* (destaque nosso).
(fonte: MORAL; JANSOON, 1982 apud ROSSING; MORRISON, 2010, p. 223)

Outro aspecto muito importante do funcionamento do cavalete é a sua capacidade de atuar como um filtro acústico. A peça pode suprimir determinadas frequências consideradas indesejáveis. As ressonâncias em 3.000 Hz e 4.500 Hz reforçam a sonoridade do instrumento nessas frequências, ao passo que a depressão entre as duas zonas de ressonâncias reduz o tom nasal indesejável na região entre elas. A peça apresenta ainda outros comportamentos que a caracterizam como um filtro, como descreve Donoso:

Uma outra manifestação da função de filtro acústico do cavalete ocorre na região entre 1300 e 1800 Hz. Em 1978, Hacklinger observou que até os 1200 Hz, o som do violino é cheio e muito valorizado; acima dos 2000 Hz o som é claro e brilhante, mais entre 1300 e 1800 Hz aparecem sons nasais, indesejáveis, que precisam ser suprimidos. [...]efetivamente a amplitude do som tem uma redução na região de 1300 a 1800 Hz num violino. Modificando o cavalete, o autor verificou que esta peça atua como um verdadeiro filtro acústico passa baixas nessa região, bloqueando as altas frequências. (DONOSO et al., 2008, p. 2305-11)

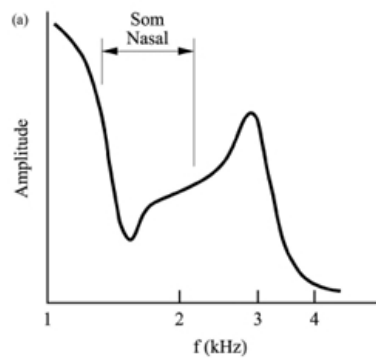


Figura 2.18 – o cavalete como filtro "passa-baixas".
(fonte: DONOSO et al.,2008, p. 2305-11)

Pode-se, portanto, localizar a principal atuação do cavalete como filtro acústico dentro dos seguintes parâmetros:

- frequência ≤ 1300 Hz: som cheio, sonoridade nobre do instrumento;
- 1300 a 1800 Hz: som nasal, de características indesejáveis;
- frequência ≥ 1800 Hz som brilhante, claro, de grande projeção;

O funcionamento acústico do cavalete é particularmente relevante na presente pesquisa, por ser a peça a sofrer a ação direta do uso de surdinas, cujo princípio de funcionamento básico é, justamente, modificar o comportamento vibracional original da peça, gerando uma série de alterações na sonoridade dos instrumentos em que são usadas.

2.6 A arcada: uma equação de três variáveis

Devem ser considerados três parâmetros básicos na utilização do arco na execução dos instrumentos de cordas friccionadas: velocidade de deslocamento do arco, pressão do arco contra a corda e ponto de contato do arco com a corda (geralmente relacionado, pelos músicos, à distância ao cavalete ou ao começo do espelho). A alteração de uma ou mais dessas variáveis implica diretamente na forma de onda gerada pela fricção da corda e, conseqüentemente, nas características do som gerado pelo instrumento, tanto em relação à intensidade obtida, quanto em relação ao timbre (SAUNDERS, 1937; DONOSO et al., 2008; GUETTLER, 2010; ROSSING; MORRISON, 2010). Donoso, em seu artigo de 2008, discorre acerca da problemática envolvida na questão:

O som gerado ao passar um arco pelas cordas depende essencialmente de três variáveis: a velocidade do arco, a posição do arco (distância ao cavalete) e a força com que se pressiona o arco contra as cordas. A situação não é tão simples quanto parece porque existe uma correlação entre estas grandezas. Se desejamos, por exemplo, passar o arco lentamente (como ocorre no caso de notas longas e ligadas), a força perpendicular com que o músico pressiona as cordas deverá ter um valor mínimo, para que resulte um som firme de boa qualidade. Uma pressão muito leve provoca instabilidade no deslocamento e na velocidade da arcada (o arco não consegue "capturar" a corda) e o resultado será um som inseguro. Pelo contrário, se a força for muito grande, a corda seguirá presa ao arco, destruindo o movimento periódico da corda, resultando um som arranhado. (DONOSO, 2008, p.2305-13)

Saunders relata, também, suas observações a respeito de questão, relacionando a alteração das três variáveis com os efeitos provocados no espectro harmônico do som do violino, embora não observe, no trecho abaixo, a inevitável interação entre os três fatores, quando considerada a prática real do instrumento:

The variations in the quality of a tone (i.e., in the relative strengths of its partial tones) produced by hand bowing have been traced to variations in bow pressure, bow speed, and the distance of the bow from the bridge (here called bow distance). Of these, changes in bow pressure alter the tone quality very little, changes in speed (alone) somewhat more, and changes in bow distance probably most of all.¹⁴ (SAUNDERS, 1937, p. 83)

Em estudo de 1973, Schelleng estabeleceu que, para uma dada velocidade de arco, existe um limite de pressão mínima e máxima suportada em um dado ponto de contato para que a corda entre em vibração de acordo com o movimento oscilatório de Helmholtz (fig. 2.19) (SCHELLENG, 1973 apud FLETCHER; ROSSING, 2012).

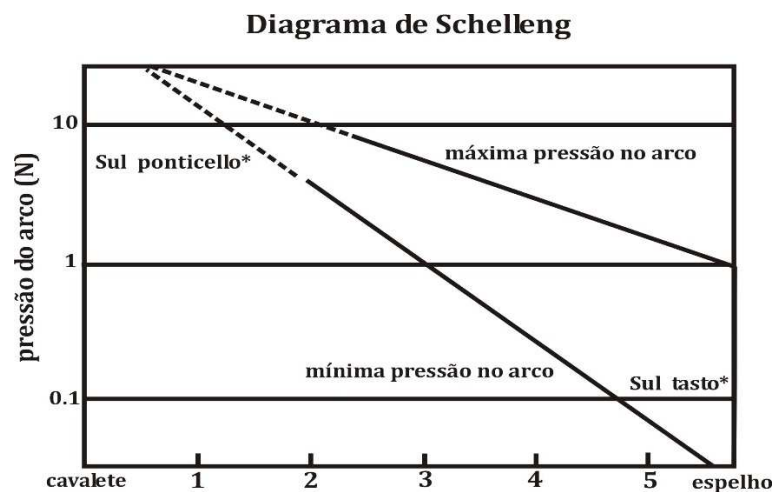


Figura 2.19 – relação entre a pressão do arco e o ponto de contato com a corda, para uma velocidade constante de deslocamento do arco. Como se pode observar, tocando-se mais próximo ao cavalete, por exemplo, é necessária maior pressão do arco, e se obtêm um som mais brilhante. **Sul ponticello/Sul tasto*: expressões italianas utilizadas nas partituras dos instrumentos de arco que indicam, respectivamente, tocar próximo ao cavalete e próximo ao espelho.

(fonte: adaptado de SCHELLENG, 1973 apud FLETCHER; ROSSING, 2012, p. 279)

¹⁴ “As variações na qualidade do som (i.e., na intensidade relativa de suas parciais harmônicas) produzidas pela arcada humana são definidas pelas variações na pressão aplicada ao arco, na velocidade do arco, e na distância do arco em relação ao cavalete (aqui denominado ponto de contato). Destas, as mudanças na pressão do arco alteram a sonoridade muito pouco, mudanças na velocidade (apenas), algo mais, e mudanças no ponto de contato provavelmente mais do que todas.” (tradução nossa)

A técnica de arco vale-se de alguns princípios que, relacionando os três parâmetros, estabelecem as bases práticas para o uso do arco: pressão e velocidade são contrários, quanto maior a velocidade, menor a pressão aplicada e vice-versa; já o ponto de contato depende da pressão, quanto maior for esta, mais próximo será o ponto de contato em relação ao cavalete, quanto menor a pressão, mais afastado será o ponto de contato do cavalete. A relação entre ambos (pressão e ponto de contato) é sempre intermediada pela velocidade de deslocamento do arco. O controle dessas três variáveis, portanto, junto aos diferentes tipos de ataque possíveis, define as características da sonoridade da grande variedade de golpes de arco existentes.

2.7 A resultante final: o som do violino

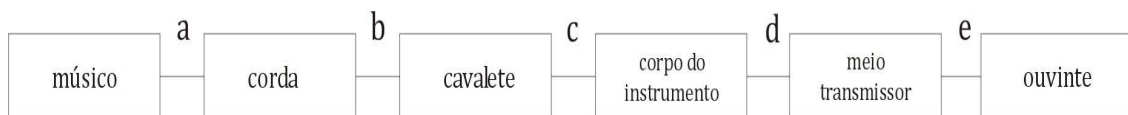


Figura 2.20 – Diagrama funcional do violino: do músico até o ouvinte.
(fonte: adaptado de ELIE; GAUTIER, 2014, p. 1386)

A fig. 2.20 representa um diagrama funcional do violino, conforme descrito abaixo:

- a) A corda é excitada pelo músico por meio do arco;
- b) A vibração da corda transfere sua energia para o cavalete;
- c) O cavalete transfere e filtra a vibração para o corpo do instrumento;
- d) A energia é irradiada para o ar, após a vibração sofrer os efeitos dos diferentes modos de ressonância do corpo do instrumento e da ressonância do ar da caixa acústica;
- e) A onda sonora resultante de todo o processo é transmitida pelo ar até o sistema auditivo do ouvinte;

No início do processo deve-se considerar a ação particular do instrumentista, ao gerar a vibração original por meio da ação do arco. O golpe de arco utilizado e a perícia do instrumentista em executar o mesmo determinam as características iniciais da onda

sonora gerada. Nas fases seguintes 'b', 'c' e 'd' (representadas na fig. 2.21), o instrumento assume o protagonismo no processo. As qualidades acústicas de cada violino, definidas pela qualidade dos materiais empregados em sua construção e pela perícia do fabricante, além de detalhes relativos à montagem do instrumento, como a regulagem da alma, do corte do cavalete ou da qualidade das cordas utilizadas, são responsáveis pela natureza do som irradiado. A última fase 'e' pode ser associada às características acústicas do ambiente onde a emissão sonora do instrumento é realizada: o principal mérito das boas salas de concerto é, justamente, facilitar a propagação do som, com o mínimo possível de perda de suas qualidades originais, até os ouvidos do ouvinte.

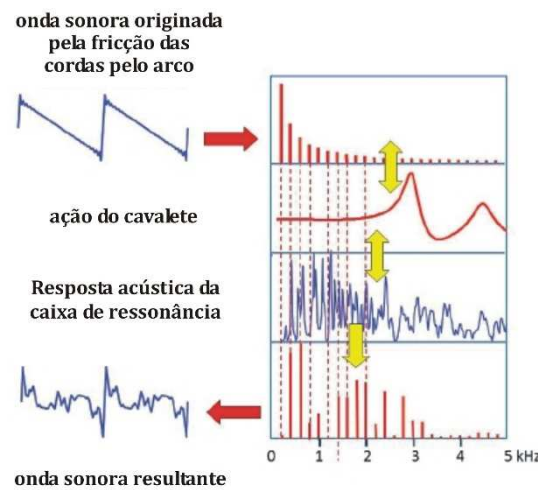


Figura 2.21 – Descrição da atuação do corpo do violino e seus diferentes componentes responsáveis pelo espectro final do som do violino.
(fonte: adaptação de GOUGH, 2016, p. 25)

O som do violino resulta, portanto, da forma de onda gerada pela excitação das cordas pelo arco, filtrada e transmitida por meio do cavalete ao corpo do instrumento e, então, modulada pelas ressonâncias deste (do corpo, tampo e fundo), além da ressonância do ar contido em seu interior (DONOSO et al., 2008). Em seu caminho até nossos ouvidos, estará, ainda, sujeita às condições acústicas do ambiente no qual se propaga.

3 A SURDINA DOS INSTRUMENTOS DE ARCO

3.1 Descrição

As surdinas utilizadas nos instrumentos de arco são dispositivos de formatos variados, confeccionados em diferentes materiais (madeira, diversos tipos de metal, borracha e outros materiais sintéticos e com combinações destes) acoplados diretamente ao cavalete dos instrumentos (muitos tipos, inclusive, permitem o acoplamento em mais de uma posição), com ou sem contato com as cordas, ou a estas, quando então deslizam nas mesmas entre o estandarte¹⁵ e o cavalete¹⁶, de maneira a entrarem em contato com este último (fig. 3.1 e 3.2 respectivamente). Produzem, basicamente, dois efeitos: alteração da intensidade e do timbre do som emitido pelos instrumentos. Pode-se considerar que, do ponto de vista da performance artística, entende-se, atualmente, que o motivo de sua utilização seja a alteração do timbre, sendo a variação da intensidade do som dos instrumentos apenas um efeito secundário. Apenas no caso das surdinas designadas genericamente como sendo “para estudo” – “*Practice Mute*”, como são denominadas em inglês (SARCH, 2017), o objetivo principal visado é, justamente, a redução da intensidade do som do instrumento de maneira radical (sendo por vezes denominadas, em português, “abafadores”), de maneira a possibilitar a prática do instrumento em ambientes ou circunstâncias onde seja necessário que ele emita o mínimo de som possível.



Figura 3.1 – surdina acoplada ao cavalete
(fonte: imagem própria)



Figura 3.2 – surdina acoplada às cordas
(fonte: internet, sem autoria)

¹⁵ Peça, preferencialmente feita de madeira, de formato aproximadamente triangular, onde são presas as cordas do violino (vide seção 2.3).

¹⁶ Vide seção 2.5.5.

Como visto no capítulo anterior, o cavalete dos instrumentos de corda friccionada é de fundamental importância na composição do timbre dos mesmos. As surdinas alteram, justamente, o comportamento vibracional natural do cavalete, produzindo, com isso, uma variada gama de efeitos de acordo com suas características físicas (rigidez do material de que são feitas, formato e área de contato das mesmas com o cavalete, massa acrescentada ao sistema), tanto em relação ao grau de variação provocado na intensidade do som do instrumento, quanto em relação ao timbre do mesmo, podendo realçar ou suprimir diferentes características de sua sonoridade original.

*1) 1. Geige, 2. Bratsche u. 2 Cello spielen ohne Dämpfer; 2. Geige, 1. Bratsche u. 1 Cello mit Dämpfer

16 Verklärte Nacht

Figura 3.3 – Excerto da “Verklärte Nacht” (1902) de Schoenberg, (composta originalmente para sexteto de cordas – na grade, de cima para baixo, 1º e 2º violinos, 1ª e 2ª violas e 1º e 2º violoncelos), na qual o compositor especifica claramente quais instrumentos utilizarão surdina: “* 1º violino, 2ª viola e 2º cello sem surdina; 2º violino, 1ª viola e 1º cello com surdina” (tradução nossa) (fonte: Petrucci Music Library - <http://imslp.org/>)

A indicação para a colocação das surdinas vem disposta nas partituras, geralmente, sobre o pentagrama, sendo a forma mais comum a expressão em italiano “*con sordino*” ou “*con sordina*” (plural *sordini*, *sordine*); são encontradas também, nas edições musicais, expressões em francês: “*avec sourdines*”; em alemão: “*mit Dämpfer*” (fig.3.3) ou “*gedämpft*”; e, mais raramente, em inglês: “*put on mutes*”. O uso dos dispositivos deve ser mantido até que a instrução para a sua retirada apareça na partitura. Em sua forma mais comum, em italiano: “*senza sordino(i)*” ou, mais raramente, “*via sordini*”; em francês “*sans*

sourdines” ou “*ôtez les sourdines*”, em alemão, “*ohne Dämpfer*” (fig. 3.3) ou “*Dämpfer weg*”, e em inglês, “*take off mutes*”. (KENNAN; GRANTHAM, 2002; PISTON, 1955)

São utilizadas, também, nos outros instrumentos da família do violino (viola e violoncelo) e, com menos frequência, sobretudo na música mais antiga, no contrabaixo acústico. Pode ser pedido o seu uso em todas as cordas da orquestra, ou conjunto de câmara, de uma vez, ou em naipes¹⁷ específicos (por exemplo, somente nos violoncelos). É possível, também, obter-se uma mudança de timbre gradual das cordas da orquestra, ou outras formações instrumentais, colocando-se as surdinas naipes por naipes, quando existirem, um de cada vez, em sequência, ou com cada músico, individualmente, adotando o mesmo procedimento. O compositor pode ainda, se necessário, determinar usos específicos quando for desejada uma combinação de timbres ou determinado equilíbrio, mais particular, como, por exemplo, na “*Verklärte Nacht*” (“A Noite transfigurada”), de Arnold Schoenberg, de 1902, originalmente composta para sexteto de cordas, na qual o compositor especifica exatamente, em determinada passagem, quais instrumentos devem estar com surdina (fig. 3.3).

3.2 A pesquisa sobre surdinas de violino

O levantamento bibliográfico a respeito da pesquisa científica das surdinas encontrou pouco material publicado. Há certo número de citações à utilização das surdinas 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. Um artigo de 1998, de Kenshi Kishi, intitulado “*Influence of the Weight of Mutes on Tones of a Violin Family*”, relata um estudo curto a respeito de uma determinada surdina (“*KS-type Fantastic Sordino*”) focalizado sobretudo na influência do peso do dispositivo em seus efeitos (no timbre de um determinado violino e na mobilidade do cavalete de um violoncelo) (KISHI, 1998).

São encontradas, igualmente, poucas menções nos tratados de técnica instrumental, com poucas exceções, notadamente, na conhecida obra de Leopold Mozart,

¹⁷ Naipes: denominação de um grupo de instrumentos do mesmo tipo em uma orquestra, que tocam, geralmente, uma mesma parte musical (por exemplo: naipes dos primeiros violinos, naipes dos contra-baixos etc.)

“*Versuch einer gründlichen Violinschule*”¹⁸, de 1756, onde há um curto verbete sobre o dispositivo, no qual o autor explica de maneira sucinta sua natureza e função, uma menção um pouco mais detalhada no “*L'art du violon: nouvelle méthode dédiée à ses élèves*”¹⁹, de 1834, de Pierre Baillot e, finalmente, na obra de Carl Flesch, “*The Art of the Violin Playing*”²⁰, de 1939, onde há várias menções ao uso de surdinas; já nas obras relativas à prática e à técnica do violino de Galamian e Menuhin, não são citadas (SARCH, 2017).

Também nos tratados de orquestração pesquisados não há muita informação a respeito. No “*Grand traité d'instrumentation et d'orchestration modernes*”, de Hector Berlioz, de 1844, o mais antigo dentre os verificados, há menção ao uso das mesmas na seção em que os recursos de orquestração do violino e demais instrumentos de arco são apresentados. O autor assim descreve as surdinas:

Les sourdines sont de petites machines en bois q'on place sur le chevalet des instruments à cordes pour affaiblir leur sonorite, et qui leur donnent em même temps um accent triste, mystérieux et doux, dont l'applicaton est fréquemment heureuse dans tous les genres de musique.²¹ (BERLIOZ, 1844, p.24)

Observa ser necessário dar tempo aos instrumentistas para colocar o dispositivo, para tanto sendo preciso haver uma pausa suficientemente grande nas partes que utilizarão a surdina antes do início de seu uso, o que, aliás, foi uma preocupação de todos os autores de tratados de orquestração analisados. Comenta, ainda, ser mais comum seu emprego em todos os naipes de cordas ao mesmo tempo, mas, não ser raro, eventualmente, um só naipe utilizar a surdina.

Na obra “*Orchestration*”, de Walter Piston, conhecida referência de orquestração do séc. XX há, também, uma breve apresentação do dispositivo:

The mute is a three-pronged device made of wood, metal, bone, or other materials, which can be fitted onto the bridge for the purpose of absorbing some of the vibrations before they can be transmitted to the resonating body of the instrument.²² (PISTON, 1955, p.35)

¹⁸ “Tratado sobre os princípios fundamentais para tocar violino”, tradução de Lílian Maria Pereira da Silva da versão em inglês “*A Treatise on the Fundamental Principles of Violin Playing*”, de Editha Knocker, publicada em 1948 pela Oxford University Press. (SILVA, 2014)

¹⁹ “A arte do violino: novo método dedicado a seus alunos”, (tradução nossa)

²⁰ “A arte de tocar violino”, (tradução nossa)

²¹ “As surdinas são pequenos dispositivos de madeira que se coloca sobre o cavalete dos instrumentos de cordas para enfraquecer sua sonoridade, e que lhes dá ao mesmo tempo um acento triste, misterioso e doce, cuja utilização é frequentemente feliz em todos os gêneros de música.” (tradução nossa)

²² “A surdina é um dispositivo de três dentes, feito de madeira, metal, osso, ou outros materiais, que pode ser fixado sobre o cavalete com o propósito de absorver parte das vibrações antes que elas possam ser transmitidas para a caixa de ressonância do instrumento.” (tradução nossa)

O autor observa, como os demais, a necessidade de tempo para colocar e tirar o dispositivo, “[...]at least a couple of measures in moderate time”²³ (PISTON, 1955, p.35), comentando que várias tentativas para desenvolver surdinas mais práticas e eficientes, nesse sentido, foram feitas, não havendo, entretanto, preferência entre os músicos, por nenhuma das propostas disponíveis no mercado.

Dois artigos de publicação recente, porém, destacaram-se diante da pouca bibliografia disponível: “*Muted violins from Lully to Haydn*”, publicado em 2016 por Deirdre Loughridge e “*CON SORDINO: The Art of the Mute*”, de Kenneth Sarch, publicado em novembro de 2017, portanto, após o início da presente pesquisa. O primeiro forneceu referências e uma rica discussão que possibilitaram a contextualização histórica das surdinas de instrumentos de cordas, suas origens e propósitos originais. O segundo apresenta as surdinas de maneira geral, procurando fazer um levantamento em relação às principais características dos dispositivos, tratando, também, de questões concernentes a aspectos estéticos de seu uso na prática musical contemporânea. Não se baseia, porém, em nenhum dado relacionado a mensurações acústicas controladas ao se referir aos efeitos da surdina, sendo a caracterização proposta pelo autor fruto, aparentemente, unicamente de suas observações enquanto musicista, não entrando, em absoluto, em nenhuma proposta de entendimento do funcionamento físico do dispositivo, além da mera menção à evidente alteração do comportamento original do cavalete. Apesar de seu caráter um tanto genérico, o artigo é bastante abrangente ao conseguir abarcar as principais características físicas do dispositivo e de que maneira ele se insere na prática musical das cordas, sobretudo, diante da escassez de material a respeito do tema, o que aliás, o próprio autor observa em seu texto: “*Except for the article you are now reading, you will not find much information, advice, or recommendation for the artistic use of the mutes!*”²⁴ (SARCH, 2017, p. 24).

Na internet, a pesquisa do tópico remete muitas vezes a vídeos, principalmente localizados no youtube, onde existem em certo número, nacionais e estrangeiros, geralmente, em canais dedicados ao público específico de instrumentistas de cordas e relacionados. Tais vídeos, porém, limitam-se a informações genéricas a respeito de surdinas para

²³ “pelo menos um par de compassos em tempo moderato” (tradução nossa)

²⁴ “Exceto pelo artigo que você está lendo agora, você não encontrará muito mais informação, conselho, ou recomendação para o uso artístico de surdinas!” (tradução nossa)

cordas, em sua maior parte estabelecendo uma classificação entre os diferentes tipos baseada unicamente na finalidade do uso: estudo ou performance. Os comentários feitos em relação às características observadas não apresentam nenhuma fundamentação, nenhuma descrição de metodologia utilizada, sugerindo tratar-se, antes, de impressões subjetivas dos produtores dos vídeos. Afirmações do tipo “essa surdina ‘diminui o som’ em 70%” são apresentadas desacompanhadas de qualquer critério de mensuração objetivo, em alguns casos atribuindo a informação, sem maiores detalhes, ao fabricante do produto. Da mesma forma, tentativas de descrição do efeito dos dispositivos no timbre dos instrumentos esbarram igualmente em adjetivos de interpretação subjetiva, como “som mais escuro”, “som metálico”, “sonoridade anasalada”, tornando impossível o estabelecimento de comparações mais objetivas, já que esses termos podem ser compreendidos de maneiras muito variadas, mesmo por musicistas.

3.3 Tipos de surdinas e seu uso

Dentre toda a bibliografia levantada para a pesquisa, o único material encontrado que apresenta alguma proposta de classificação descritiva para as surdinas é o já citado artigo “*CON SORDINO: The Art of the Mute*”, de Kenneth Sarch, que relaciona uma grande variedade de tipos de surdinas (fig. 3.4). No restante da bibliografia a que se teve acesso, eventualmente, encontram-se observações a respeito da natureza das surdinas, sobretudo, acerca do material de que são feitas, por vezes em relação ao peso, mas, de maneira pontual, sem desenvolver nenhuma tentativa de classificação mais ampla. O único a propor uma categorização foi Sarch, que define em seu artigo quatro funções para as surdinas:

The Four Functions of Mutes:

1. Solo Mute: For large concert halls and solos with orchestra and concert grand pianos. The solo mute provides a muted effect, but with a full sound—without damping the overtones so that the tone quality of the instrument is not changed.
2. Orchestra Mute: Provides damping of volume (less volume than the solo mute) with quality of tone and clarity. Permanent storage on the instrument for ease of quickly placing mute on and taking it off is often a desired feature.
3. Sonata, Chamber Music, and Contemporary Music Mute: A mute that provides the desired tone color and volume according to the musical requirements of the composition. Unless there is not enough time to place or remove the mute, this mute does not need to be attached to the instrument. The tone quality of the mute selected—nasal, mellow, less volume, more volume, shrill, warm, metallic, clear, foggy—can be different as needed for the particular music.

4. Practice Mute: The main purpose of this type of mute is to dampen the volume to a very, very soft level so as not to disturb anyone nearby: hotel room, someone sleeping, apartments, close to a rehearsal going on, and so on.²⁵ (SARCH, 2017, p. 25)

Estabelece, igualmente, uma lista de características associadas às surdinas:

Mute Factors:

- Material
- Design—Number of contact points or prongs
- Weight or density
- Ease of use
- Location on bridge
- Price²⁶ (SARCH, 2017, p. 25)



Figura 3.4 – foto da coleção de surdinas de Kenneth Sarch (fonte: SARCH, 2017, p. 24)

²⁵ “As Quatro Funções das Surdinas: 1. Surdina para solos: para grandes salas de concerto e solos com orquestra ou piano. A surdina para solo produz um efeito de atenuação, mas com um som cheio – sem abafar os harmônicos de tal forma que a qualidade da sonoridade do instrumento não é mudada. 2. Surdina para Orquestra: Produz uma atenuação de volume (menos volume do que a surdina para solo) com qualidade de sonoridade e clareza. Permanecer alocada no instrumento para facilidade de colocação e retirada é frequentemente uma característica desejada. 3. Surdina para sonata, música de câmara e música contemporânea: uma surdina que produz o timbre e volume desejados de acordo com as demandas musicais da composição. A não ser que não haja tempo suficiente para colocar e retirar a surdina, esta não precisa permanecer alocada no instrumento. O timbre da surdina selecionada – nasal, maduro, menos ou mais volume, estridente, quente, metálico, claro, nebuloso – deve ser diferente de acordo com as necessidades específicas de cada música. 4. Surdina para estudo: o propósito principal desse tipo de surdina é abafar o volume até um nível muito, muito suave, de tal forma que não incomode ninguém nas vizinhanças: seja em um quarto de hotel, a alguém dormindo, em apartamentos, próximo a um ensaio em andamento, e assim por diante.” (tradução nossa)

²⁶ “Fatores que caracterizam as surdinas: -material -formato, número de pontos de contato ou dentes - peso ou densidade -facilidade de uso - localização no cavalete – preço.” (tradução nossa)

Em seguida, Sarch as descreve agrupando-as por suas características físicas, classificando-as, em sua maioria, em uma das quatro funções que especifica anteriormente. Se refere às “surdivas deslizantes” (“*sliding mutes*”), que são acopladas às cordas do instrumento, e às surdivas “com um dente”, “com dois dentes” e “com três dentes” (“*one-prong mute*”, “*two-prong mute*” e “*three-prong mute*”), confeccionadas com diferentes materiais (borracha, madeira, couro, plástico e combinações de mais de um material), como surdivas para utilização em performance; já as surdivas com quatro ou cinco dentes, listadas por ele, são todas para estudo, o que é lógico já que o grande tamanho e área de contato desses tipos de surdiva produz efeitos muito fortes, sobretudo em relação à atenuação. Lista ainda, entre as surdivas para estudo, também dispositivos com dois ou três dentes, cujo material de que são feitos, algum tipo de metal, borracha ou plástico mais densos, determinaria tal característica, apesar de serem menores e mais leves e terem menor área de contato com o cavalete.

Merece menção a surdiva desenvolvida por demanda de Jascha Heifetz²⁷, como um raro caso conhecido de uma busca mais conscienciosa por um dispositivo de efeito controlado. Insatisfeito com as surdivas então disponíveis no mercado, que geralmente produziam uma atenuação exagerada no som do instrumento para a execução de solos acompanhados por orquestra (como é pedido, por exemplo, no movimento lento do concerto de Tchaikovsky para violino e orquestra, em Ré M, opus 35), o célebre violinista teria trabalhado junto ao artesão e inventor Henryk Kaston, do Brooklyn, Nova York, em meados da década de 1940, no desenvolvimento de um protótipo de surdiva. Após inúmeras tentativas, foi patenteado em 1947, um modelo de surdiva, com um único dente longo, que consistia em um grampo de metal recoberto por borracha (SARCH, 2017). O dispositivo mostrou-se bastante eficiente, possibilitando regulagens variadas de acordo com o tanto que se deslizasse o seu único dente sobre o cavalete, além de poder ser acoplado em diferentes posições sobre o mesmo. Teve a produção descontinuada em 1968, voltando a ser fabricado, porém, em 1995 após uma atualização do modelo²⁸, estando disponível até hoje para compra.²⁹

²⁷ Jascha Heifetz, nascido em Vilnius, Lituânia (1901-1987) foi um dos maiores virtuosos da história do violino.

²⁸ Sexta surdiva da esquerda para a direita, na primeira fileira da figura 3.4 (coleção de surdivas de Kenneth Sarch, fonte: SARCH, 2017, p. 24)

²⁹ Informações disponíveis em <<http://violinmutes.com/index.php/history/>> acessado em 15/05/2018.

Embora não seja objetivo da presente pesquisa estabelecer um sistema de classificação para as surdinas, cabe observar que o encaminhamento dado por Sarch ao assunto parece pertinente, sobretudo, em relação ao agrupamento pelo tipo físico, (deslizantes, um dente, dois dentes, etc.); quanto à classificação em relação à função, é preciso levar-se em consideração que ter, apenas, a impressão subjetiva como critério para definir a destinação de uma surdina, ainda que emitida por um musicista, não parece suficiente para estabelecer bases consistentes para uma categorização sistemática. Mesmo ao se pensar nas surdinas para estudo, pode-se considerar perfeitamente possível, por exemplo, que alguma obra de música contemporânea proponha o seu uso em situação de performance, visando algum efeito sonoro específico. Da mesma forma, grupos especializados em PHI podem optar pela escolha de determinado tipo de surdina, tendo em vista a contextualização da execução de alguma peça antiga, em desacordo com o que seria a opção mais usual atual. Nesse ínterim, portanto, é necessário um estudo mais cuidadoso para se pensar um sistema de classificação por função mais consistente para as surdinas, tendo em vista que, inevitavelmente, tal sistema deverá comportar certa flexibilidade.

3.4 Histórico de utilização

3.4.1 Primeiros registros

A utilização de algum tipo de dispositivo para reduzir a intensidade do som de um instrumento musical remonta a fins do séc. XVI, quando teria se iniciado a prática da utilização de surdinas em trompetes, ao serem empregados em cerimônias fúnebres, onde a sonoridade típica desses instrumentos, eventualmente demasiado forte e agressiva, não seria conveniente (McGRATTAN, 1995³⁰ apud LOUGHRIDGE, 2016). Já os primeiros registros de utilização de surdina nos instrumentos de arco remontam à segunda metade do séc. XVII. Considerando-se a primeira fonte natural de registro da utilização das mesmas as partituras para orquestra ou música de câmara, que incluam o violino e demais instrumentos da família em sua instrumentação, onde a instrução “*con sordino*”, ou

³⁰ McGRATTAN, A. ‘The trumpet in funeral ceremonies in Scotland and England during the 17th century’, *Historic Brass Society Journal*, vii (1995), pp.168–84. Referência citada por LOUGHRIDGE, 2016.

equivalente, indique que o compositor solicita a utilização da mesma, são citados na literatura a respeito do assunto três compositores que, antes de 1700, pedem em suas partituras a utilização de surdina: Heinrich Schmelzer, cujo drama religioso *Le memorie dolorosa*, composto para a capela da corte de Viena em 1678, seria o primeiro registro da prática, Jean-Baptiste Lully, que inaugura a utilização das surdinas em sua obra com *Le triomphe de l'Amour*, composta em 1681, e Henry Purcell, cuja *The Fairy Queen*, datada de

86

LE TRIOMPHE

PRELUDE POUR LA NUIT.

BASSE CONTINUE.

Tous les Instruments doivent avoir des sourdines & jouer doucement, particulièrement quand les voix chantent, & ne point ôter les sourdines que l'on ne l'ait marqué.

PREMIER DESSUS.

Figura 3.5 – Fac-símile de "*Le triomphe de l'amour*" de Lully com sua detalhada instrução para a utilização de surdinas. (fonte: Petrucci Music Library - <http://imslp.org/>)

1692, seria sua estreia com os dispositivos (LOUGHRIDGE, 2016). Destas, nas de Lully e Purcell, não há dúvidas quanto ao sentido das instruções para o uso de surdina; na de Lully, inclusive, a instrução disposta no alto da página de maneira bem detalhada sugere que a prática, talvez, não fosse muito comum aos músicos de então (LOUGHRIDGE, 2016); o compositor anota: "*Tous les Instruments doivent avoir des sourdines et jouer doucement, particulièrement quando les voix chantent, et ne point ôter les sourdines que l'on ne l'ait marqué*"³¹ (fig. 3.5).

Quanto à obra de Heinrich Schmelzer, *Le memorie dolorosa*, de 1678 (a mais antiga das três, portanto) há dúvidas quanto ao sentido da indicação do uso de surdinas. A menção a tal obra como a primeira em cuja partitura há a instrução para o uso de surdina é fruto de um estudo de Gustav Beckmann³² acerca da técnica de violino antes de 1700 (LOUGHRIDGE, 2016), no qual ele observa que a partitura em questão conteria

³¹ "Todos os instrumentos devem ter surdinas e tocar suavemente, particularmente quando as vozes cantam, e não tirar as surdinas a não ser quando se assinala." (tradução nossa)

³² Beckmann, Gustav. *Das Violinspiel in Deutschland vor 1700* (Leipzig, 1918), p.59, referência encontrada em LOUGHRIDGE, 2016.

instruções como: “*Sordini con la lyre*” ou “*ritornelo di Sordini*”. A autora do já citado artigo “*Muted violins from Lully to Haydn*”, de 2016, Deirdre Loughridge, observa que a formalização da linguagem musical foi, sabidamente, um processo lento:

The period from the late 17th to the early 18th century was a time of developing musical vocabulary, as well as of changes in instrument manufacture. In consequence, terms often had multiple meanings, making it difficult at times [...] to determine when a term refers to an instrument, to a manner of playing, or to another aspect of performance. The first known appearance of ‘con sordino’ in a musical score is thus equally doubtful as a reference to the violin mute.³³ (LOUGHRIDGE, 2016, p. 428)

Nesse contexto, as instruções de Schmelzer, que incluem “*Ritornello di Sordini*”, “*Ritornello con Sordini*” e “*Sordini*” apresentam uma formulação incomum e variada da indicação de uso, e chama a atenção, na mesma peça, a presença de uma expressão: “*Ritornello con Viole da gamba*”, inequívoca instrução para se alterar o instrumento a ser utilizado quando da repetição, prática conhecida e nada incomum na formulação instrumental da época. A autora do artigo argumenta, ainda, que as vozes indicadas por número, sem nomear o instrumento a que se destinariam, tem as claves alteradas quando das instruções “*con sordini*” (LOUGHRIDGE, 2016). Todos esses indícios sugerem que, eventualmente, as instruções em questão não façam referência ao uso de surdina, mas, sim, à utilização de um “*Sordino*” (fig. 3.6), espécie de instrumento de arco de uso anterior ao violino e sua família, e que, assim como a família das violas da Gamba, conviveu durante um bom tempo com os novos instrumentos que se afirmavam no cenário musical europeu (HUTCHINS, 1962). Em vista de tais considerações, a menção mais antiga de instrução para uso de surdinas, indubitável, em uma partitura, seria a peça “*Le triomphe de l’Amour*”, de Lully, de 1681.

³³ “O período de fins do séc. XVII e começo do XVIII foi uma época de desenvolvimento do vocabulário musical, bem como de transformações na manufatura dos instrumentos. Consequentemente, expressões frequentemente tinham múltiplos significados, tornando difícil, às vezes – como Eleanor Selfridge-Field observou – determinar quando um termo se refere a um instrumento, a uma maneira de tocar, ou a outro aspecto da performance. A primeira aparição do “con sordino” em uma partitura musical é de tal forma duvidosa quanto à referência à surdina de violino.” (tradução nossa)



Figura 3.6 – *Sordino*, de Filippo Bonanni, *Gabinetto armonico pieno d'instromenti sonori indicati, spiegati, e di nuovo corretti, ed accresciuti* (Rome, 1723), pl. 59, Getty Research Institute. (LOUGHRIDGE, 2016, p. 429)

Quanto ao termo *surdina*, associado especificamente ao violino, seu primeiro registro conhecido na literatura é de 1680, no “*Dictionnaire françois contenant les mots et les choses*” (“Dicionário francês contendo as palavras e as coisas”, tradução nossa) de Pierre Richelet (LOUGHRIDGE, 2016), no qual há duas entradas para *sourdine*, uma delas fazendo menção ao já citado instrumento “*sourdine*” (fig. 3.6), descrito como instrumento “*qui sert seulement pour jouer du luth ou du violon d'une manière sourde et obscure et que ne soit pas beaucoup entendue*³⁴” (RICHELET, 1680, p. 395), e a outra, associada ao violino, na qual o dispositivo é descrito e o uso da palavra exemplificado com uma frase sugerindo, inclusive, onde poderia ser adquirido, que é, em si, um indicativo a ser observado acerca da confecção das *surdinas* originalmente:

Sourdine. Terme de Violon. C'est une maniere de petite plaque d'argent, ou d'autre chose, qu'on plié en arc et qu'on met sur le chevalet de l'instrument pour

³⁴ “que serve somente para tocar (música de) alaúde ou violino de maneira fraca e obscura e que não seja bem escutada”. (tradução nossa)

empêcher qu'il ne resonance fort. [Achetter une sourdine d'argent chez un orfevre]³⁵ (RICHELET, 1680, p. 395).

É citado ainda, na literatura a respeito do assunto, o tratado de Marin Mersenne, “*Harmonie universelle: contenant la théorie et la pratique de la musique*” (Paris, 1636), como uma referência ao uso de surdinas de violino ainda no século XVII (LOUGHRIDGE, 2016; BOYDEN, 1965; SARCH, 2017). Em tal obra, porém, a mais antiga das fontes citadas (mais de quarenta anos antes de Richelet), na parte em que descreve os instrumentos de seu tempo, ao discorrer acerca do violino, não se encontra menção direta à surdina. O termo é citado explicitamente, com uma descrição detalhada, apenas, como um dispositivo utilizado no trompete (fig. 3.7).

No trecho no qual o violino é descrito, porém, encontra-se, quando o autor discorre acerca de peculiaridades do instrumento, a seguinte observação: “[..] *qu'il perd une grande partie de son harmonie quand on met une clef, ou quelqu'autre chose semblable sur son chevalet [...]*”³⁶ (MERSENNE, 1636, p. 390). Ou seja, uma descrição sucinta, porém, objetiva dos efeitos de uma surdina, o que explicaria a menção do tratado na literatura acerca das surdinas. O fato, entretanto, do autor não ter utilizado a palavra surdina ao descrever tal efeito, sobretudo levando-se em consideração que ele já conhecia a palavra

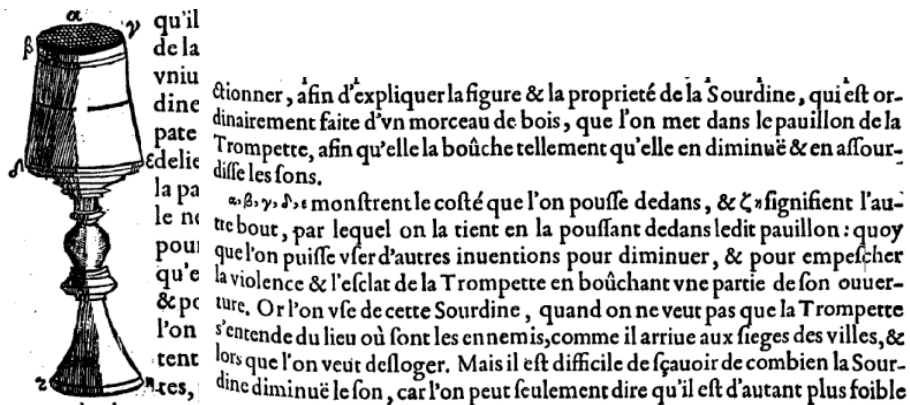


Figura 3.7 – Fac-símile de imagem do tratado de Mersenne da surdina para trompete e parte do trecho original em que ele a descreve. (fonte: MERSENNE, 1636)

³⁵ “Surdina. Termo de Violino. É uma espécie de pequena placa de prata ou de outra coisa, que se curva em arco e coloca-se sobre o cavalete do instrumento para impedir que ele ressoe fortemente. (Comprar uma surdina de prata em uma ourivesaria.” (tradução nossa)

³⁶ “que ele (o violino) perde uma grande parte de sua harmonia (sonoridade) quando se coloca uma chave, ou qualquer outra coisa similar sobre seu cavalete.” (tradução nossa)

e seu uso na prática musical, utilizando-a na mesma obra em relação ao trompete, permite que se conclua que, apesar da possibilidade do efeito ser já conhecida, a concepção da utilização de tal princípio de forma deliberada como elemento de performance do violino, como já ocorria com o trompete, não o era. Ou seja, não se pode afirmar que, para Marsenne, a surdina para violino já fosse conhecida ou utilizada como um recurso para a performance musical.

3.4.2 Natureza original das surdinas e sua função

Quanto à natureza e à função das surdinas primordialmente, as fontes são igualmente limitadas. Os exemplares legítimos do séc. XVIII, ou anteriores, são em pequeno número e de difícil autenticação. Os poucos artefatos disponíveis, geralmente, são datados associando-os aos instrumentos junto aos quais foram encontrados (LOUGHRIDGE, 2016), o que, evidentemente, não pode ser considerado uma indicação segura.

Atualmente, tem-se muito clara a função da surdina como sendo um meio de variação da sonoridade dos instrumentos de corda, ou seja, a alteração da natureza do timbre dos mesmos, à parte a maior ou menor alteração na intensidade, pode ser considerada o motivo estético para a utilização do dispositivo. Trata-se de um recurso para ampliar a palheta sonora, as “cores”, disponíveis aos compositores no momento em que a instrumentação de uma dada composição é pensada (seja ela solo, de câmara ou sinfônica), sobretudo levando-se em consideração que a escolha dos instrumentos, e, mesmo de seus diferentes timbres possíveis, tornou-se um elemento estruturante da composição a partir de fins do séc. XVIII, começo do XIX.

Anteriormente, porém, o papel da instrumentação tinha outro peso e outra concepção na prática composicional, como comenta Nikolaus Harnoncourt em seu livro “O Diálogo Musical: Monteverdi, Bach e Mozart”, acerca da prática de instrumentação dos sécs. XVI e XVII:

Como não era habitual a prescrição de uma instrumentação precisa, na acepção moderna do termo, tanto para o contínuo quanto para o resto da orquestra, os instrumentos eram divididos em dois grupos: instrumentos “fundamentais” e instrumentos “ornamentais”. Essa divisão, aliada às considerações de associação dos instrumentos, governavam o seu emprego. (HARNONCOURT, 1993, p. 36)

Se a música anterior a esse período (fins do séc. XVIII) era capaz de preservar (em maior ou menor medida) sua identidade essencial diante de uma eventual troca da instrumentação original, o mesmo não se pode dizer da produção musical posterior a ele. Podemos ouvir uma fuga de Bach com diferentes arranjos instrumentais sem que o essencial do jogo polifônico, sua natureza primeira, seja necessariamente perturbada; por outro lado, é muito difícil imaginar, por exemplo, uma música como o *“Prélude pour l’après-midi d’un faune”* (1894), de Debussy, com uma outra orquestração diferente daquela criada pelo compositor especificamente para esta obra (na qual, diga-se de passagem, as cordas com surdina encontram um uso extremamente consistente): a escolha dos instrumentos é parte da essência mesma da identidade da composição.

Levando-se em consideração, porém, a relativamente pouca importância dada à definição dos timbres, enquanto determinante, no todo da composição musical, prevalecente até meados do séc. XVIII, e relacionando-a com outras evidências, pode-se concluir que a motivação primeira para a utilização das surdinas estava ligada, basicamente, à atenuação do som dos instrumentos nos quais era empregada.

Nesse sentido, em seu artigo, Loughridge levanta inúmeros indícios que permitem concluir que as primeiras surdinas teriam como material preferencial para sua fabricação o metal, ainda que a ideia seja bastante estranha ao instrumentista atual. Justamente por serem, geralmente, mais pesadas e rígidas, as surdinas de metal implicam em um grande amortecimento do som dos instrumentos, além de salientarem determinadas características sonoras dos instrumentos, que, geralmente, não são consideradas de melhor qualidade para a performance hoje. Isso a tal ponto que, atualmente, praticamente só sejam encontradas surdinas feitas inteiramente de metal na categoria das “surdinas de estudo”, ou seja, “abafadores” para limitar, o máximo possível, o som dos instrumentos.

Na já citada obra de Mersenne as observações do autor não consideram, em absoluto, a questão da alteração do timbre. Seja em sua observação feita, apenas, em relação à perda de intensidade do som do instrumento quando comenta sobre o violino, sem mencionar explicitamente o termo surdina, ou em outras passagens, quando fala de outros instrumentos, em particular do trompete, com o qual utiliza o termo, indicando na verdade, uma visão específica das surdinas ligada, basicamente, à perda de intensidade, de um ponto de vista bem pragmático. Ao se referir à surdina de trompete e sua função,

por exemplo, o teórico francês escreve: “*Or l'on use de cette Sourdine, quando on ne veut pas que la Trompette s'entende du lieu où sont les ennemis, comme il arrive aux sièges des villes, et lors que l'on veut desloger*”³⁷ (MERSENNE, 1636, p. 259). Em outro trecho de seu tratado, Mersenne, ao referir-se ao abafamento da Espineta, feito com tecido colocado sobre as cordas diz: “[...]c'est pourquoy il est fort propre pour ceux qui désirent d'apprendre à jouer de l'Epinette sans que les voisins le puissent appercevoir; de là vient que l'on peut la nommer Epinette sourde, ou muette”³⁸ (MERSENNE, 1636, p. 114). Somente o uso ligado à redução da sonoridade dos instrumentos é relatado.

No “*Dictionnaire*” de Richelet a descrição do artefato indica: “[...]petite plaque d'argent, ou d'autre chose [...]”³⁹ (RICHELET, 1680, p. 395), que, embora admita “outra coisa” em sua fabricação, sugere preferencialmente o metal.

É conhecida, também, uma especificação feita por Vivaldi (1678-1741) de violinos “*con piombi*” (“com chumbo”), encontrada em obras sacras vocais de 1710 e na ópera “Orlando”, de 1724, que apresenta uma rara indicação do material a ser usado na confecção da surdina. Chama a atenção que esse metal pesado reforçaria, ainda mais, a perda de intensidade dos instrumentos. Se era uma demanda apenas para um efeito reforçado específico ou não, impossível dizer. Já o uso que Lully faz do dispositivo, sobretudo na ópera, relacionado a passagens de encantamento sobrenatural ou de sonho, que, anteriormente, eram geralmente confiadas às violas da Gamba, instrumentos de sonoridade sabidamente mais contida do que os violinos, sugere, também, a relação com a demanda básica de diminuir a intensidade do som. No mesmo sentido há duas passagens na Paixão segundo São João (1724), de J. S. Bach na qual ele pede violinos com surdina quando violas d’amore (instrumentos de intensidade, também, menor do que a dos membros da família do violino) não estivessem disponíveis (LOUGHRIDGE, 2016).

Endossando ainda a ideia, em outra fonte consultada, no artigo “*Metallic Mutes Used in the Eighteenth Century*”, o autor, Christian Ahrens, pesquisando sobre o assunto, ao levantar contas da câmara (*Kammerrechnungen*) da corte de Sondershausen, de 1738/39, encontra a seguinte anotação:

³⁷ “Ora utiliza-se desta Surdina, quando não se quer que o Trompete seja escutado de longe onde estão os inimigos, como acontece nos sítios de cidades e se deseja deslocar.” (tradução nossa)

³⁸ “[...] é por isso muito propício (o abafamento com roupas) àqueles que desejam aprender a tocar a Espineta sem que os vizinhos se apercebam; daí vem poder-se nomeá-la Espineta surda, ou muda.” (tradução nossa)

³⁹ “pequena placa de prata, ou outra coisa”. (tradução nossa)

10 Gr. gertler [Gürtler] vor 10. Dämpffer auf die Violinen
 (to the metalworker for 10 violin mutes⁴⁰)
 (AHRENS, 2007, p. 220)

O autor observa que, embora não seja especificado o material de que seriam feitas as surdinas a serem adquiridas, a indicação do profissional que as forneceria evidencia a sua natureza:

Due to the very restrictive guild laws of the time it was impossible for the court metalworker to have used wood, as the use of this material was reserved for the court carpenter. Therefore, there can be no doubt that the ten violin mutes purchased by the Sondershausen court in 1738/1739 really were made of metal.⁴¹ (AHRENS, 2007, p. 220)

Ahrens cita ainda outras notas onde a indicação do aço na fabricação das surdinas é explícita (inclusive para surdinas de trompas) que reforçam a ideia de que, desde seu surgimento, até o começo do séc. XVIII, pelo menos, haveria uma clara preferência pelas surdinas de metal.

Na mesma linha, o tratado de Johann Joachim Quantz, *“Versuch einer Anweisung die Flöte traversiere zu spielen”*,⁴² escrito em 1752, cita vários materiais possíveis para a fabricação de surdinas, mas, conclui ser o aço o melhor material para ser usado. Informação relevante sobretudo quando se considera que, nessa época, a consciência musical, a percepção do timbre em si, já é vista com outra significação. Do mesmo período, o conhecido tratado de Leopold Mozart, *“Versuch einer gründlichen Violinschule”*, de 1756, apresenta, também, no verbete relativo à surdina, citados como materiais possíveis para a fabricação da mesma, apenas a madeira e alguns diferentes metais: “[...] um pequeno acessório, feito de madeira, aço, chumbo ou bronze,[...]” (SILVA, 2014, p. 48). Descreve, porém, o objetivo de seu uso nos seguintes termos: “[...] a fim de exprimir algo mais calmo

⁴⁰ “Para o serralheiro (ourives ou outro artesão especializado em metais) para 10 surdinas de violino”, (tradução nossa)

⁴¹ “Devido às leis muito restritivas das corporações da época era impossível o serralheiro da corte ter usado madeira, já que o uso desse material era reservado ao carpinteiro da corte. Assim sendo, não pode haver dúvida de que as dez surdinas de violino compradas para a corte de Sondershausen em 1738/1739 realmente eram feitas de metal.” (tradução nossa)

⁴² QUANTZ, Johann Joachim. **On playing the flute**, trans. E. Reilly (New York, 1975), p.233. Referência citada por LOUGHRIDGE, 2016.

e triste” (SILVA, 2014, p. 48), o que já sugere uma compreensão outra da função das surdinas, que vai além da mera atenuação da intensidade do som dos instrumentos.

No “*Dictionnaire de Musique*”, de Jean-Jacques Rousseau, de 1768, encontra-se o seguinte verbete:

SOURDINE: Petit Instrument de cuivre ou d’argent qu’on applique au chevalet du Violon ou du Violoncelle pour rendre les Sons plus sourds et plus faibles en interceptant et gênant les vibrations du corps entier de l’Instrument. La Sourdine en affaiblissant les Sons change leur tymbre et leur donne un caractère extrêmement attendrissant et triste. Les Musiciens Français qui pensent qu’un jeu doux produit le même effet que la Sourdine et qui n’aiment pas l’embaras de la placer et deplacer ne s’en servent point. Mais on en fait usage avec un grand effet dans tous les Orchestres d’Italie et c’est parce qu’on trouve souvent ce mot Sordini écrit dans les Symphonies que j’en ai dû faire un article. Il y a des Sourdines aussi pour les Cors-de-chasse, pour le Clavecin etc.⁴³ (ROUSSEAU, 1768, p. 461)

Pode-se observar que o autor indica apenas o cobre ou a prata (apenas metais) como materiais utilizados para a fabricação das surdinas, mesmo que o efeito de alteração no timbre dos instrumentos já seja observado, em sintonia com a nova importância atribuída ao timbre na composição musical a partir da segunda metade do séc. XVIII.

Por fim, na “*Encyclopédie méthodique, arts e métiers mécaniques*”, de 1785, a definição de Rousseau é atualizada, incluindo em seu verbete relativo à surdina outros materiais possíveis para sua fabricação: “*On donne encore le nom de sourdine à la petite plaque d’argent, de cuivre, d’ivoire, ou de bois, [...]*”⁴⁴ (DE LA ROCHE, M. et al., 1785, p. 27).

A alteração da função atribuída às surdinas, de meros abafadores para um novo recurso de timbre, determinará, então, as características de sua confecção, em particular em relação ao material utilizado. Em seu tratado para a prática de violino, “*L’art du violon: nouvelle méthode dédiée à ses élèves*”, de 1834, Pierre Baillot observa em relação ao uso do dispositivo, demonstrando completa consciência do que seria reconhecido, já então, como seu objetivo real:

⁴³ “Surdina: pequeno instrumento de cobre ou prata que se aplica ao cavalete do Violino ou do Violoncelo para tornar os Sons mais abafados e mais fracos interceptando e limitando as vibrações do corpo inteiro do instrumento. A surdina ao enfraquecer os sons altera seu timbre e lhe dá um caráter extremamente terno e triste. Os músicos franceses que pensam que um tocar suave produz o mesmo efeito que a Surdina e que não gostam do incômodo de a colocar e tirar não a utilizam. Mas se faz uso dela com grande efeito em todas as Orquestras da Itália e como se encontra frequentemente essa palavra Surdina escrita nas Sinfonias que fiz dela um artigo.
Há Surdinas também para as Trompas e para o Cravo etc.” (tradução nossa)

⁴⁴ “Dá-se ainda o nome de surdina à pequena placa de prata, de cobre, de marfim ou de madeira [...]” (tradução nossa)

Il est donc essentiel de se servir de la sourdine toutes les fois que le Compositeur a fait connaître son intention à cet égard; ce serait vainement que l'un croirait y suppléer en jouant très piano: nous pensons avoir assez fait sentir que rien ne pouvait tenir lieu de cet effet de timbre.⁴⁵ (BAILLOT, 1834, p. 221)

Somente no fim do séc. XVIII, portanto, junto ao amadurecimento da instrumentação como elemento estruturante e definidor da composição musical, virão a ser encontradas indicações da mudança de preferência das surdinas feitas de metal para as feitas de madeira (fig. 3.8), que tornar-se-ão o “padrão” ao longo do séc. XIX, (Berlioz, em seu tratado de 1844, por exemplo, as define como dispositivos feitos de madeira⁴⁶), só sendo desbancadas no séc. XX frente ao advento de novos materiais como a borracha e o plástico, junto a outras propostas de design.



Figura 3.8 – Réplica de uma surdina feita de *boxwood* (*Buxus sempervirens*), do séc. XVIII, provavelmente italiana, a original tendo sido encontrada em um violino bolonhês do séc. XVIII. (LOUGHRIDGE, 2016, p. 431)

⁴⁵ “É portanto essencial utilizar a surdina todas as vezes que o Compositor fizer conhecer sua intenção a esse respeito; seria realmente vão acreditar-se substituí-la tocando muito *piano*: nós pensamos ter deixado claro que nada pode substituir esse efeito de timbre.” (tradução nossa)

⁴⁶ Vide citação p. 34.

4 METODOLOGIA DE PESQUISA

Visando registrar uma base de dados representativa da sonoridade do violino, toda a pesquisa será baseada na análise de gravações de áudio do som dos instrumentos selecionados para a amostragem nas quatro condições de estudo (sem e com as três diferentes surdinas). Para tanto foi preciso definir-se como tais áudios seriam registrados e em quais condições de execução. Embora o trabalho não abranja questões relativas à performance musical, do ponto de vista artístico, como definido em seus objetivos, sendo baseado no estudo das características da sonoridade do violino por meio da análise de notas isoladas, sem e com as diferentes surdinas, de forma totalmente desvinculada de um contexto de expressão musical, optou-se pela execução instrumental humana, em detrimento da utilização de arcos mecânicos⁴⁷. Tal opção baseia-se no fato de que há, inevitavelmente, uma variação significativa nas condições de utilização do arco durante a performance humana, qualquer que seja o golpe de arco ou forma de emitir o som adotado, que faz parte do que percebemos como a sonoridade típica do violino, da mesma forma que os elementos transientes, seja de ataque ou decaimento do som (definidos pelos diferentes golpes de arco utilizáveis) ou o vibrato (capaz de inserir um elemento expressivo no próprio corpo do som, distinto da ação do arco) integram a estética sonora do instrumento. Tendo isso em mente, a metodologia desenvolvida para a pesquisa procurou padronizar as amostras por meio de um protocolo de execução específico

⁴⁷ Desde o começo do século XX foram utilizados nas pesquisas acerca do violino diferentes modelos de “arcos mecânicos” – dispositivos capazes de reproduzir um efeito similar ao da ação da crina do arco manejado por um intérprete humano na geração do som do instrumento, porém, sem a grande variabilidade que a performance humana acarreta, ao tentar uniformizar mecanicamente as três variáveis principais na geração do som em cordas friccionadas: pressão exercida contra a corda, velocidade do elemento de fricção (no caso do arco a crina) e o ponto de contato com a corda em relação ao cavalete – ou outros procedimentos, como condução mecânica de um arco normal sobre um violino; com diferentes propostas, de discos de celuloide a faixas de circulação contínua de crina, são várias as abordagens descritas em artigos: Raman em 1920, Meinel em 1937, Saunders em 1937, Rohloff em 1940, Schumacher em 1994, McLennan em 2000 (McLENNAN, 2000). Tais mecanismos e procedimentos, porém, geram um afastamento significativo da prática e das condições reais nas quais o som do instrumento é produzido. Tanto McLennan quanto Saunders, que fizeram pesquisas comparando dados obtidos em situações de estudo similares usando performance humana e arcos mecânicos, concluíram que as diferenças nos dados obtidos pelos dois processos não eram significativas, considerando-se alguma padronização nas execuções humanas (SAUNDERS, 1937 e McLENNAN, 2000). Saunders, autor de extensas pesquisas sobre o violino, chama, ainda, a atenção para uma questão relevante para a validação dos resultados: “[...] *hand bowing was used, as it is far more convenient, and musicians accept the results obtained by means of it with less prejudice than they would if the celluloid-disk bow had been used*” (SAUNDERS, 1937, p. 83). (“[...] a performance humana foi usada, pois é mais conveniente, e os músicos aceitam os resultados obtidos por meio dela com menos resistência do que se o mecanismo de disco de celuloide tivesse sido usado.” – tradução nossa)

desenvolvido para o trabalho, considerando que tal abordagem é mais próxima à condição real de performance musical do que a utilização de mecanismos artificiais. O contínuo desenvolvimento desse protocolo será essencial em futuras pesquisas nas quais se proceda a análises da sonoridade do instrumento em condições reais de performance.

4.1 Violinos selecionados para a pesquisa

Buscando uma representatividade abrangente da sonoridade do violino, o presente trabalho selecionou seis instrumentos para a coleta de dados, tendo como critério básico a diversidade de qualidade, procurando, por meio desta, exemplos das variáveis possíveis da sonoridade do violino, condicionadas, basicamente, pelos fatores determinantes da qualidade dos mesmos: materiais utilizados para a construção dos mesmos, processo de fabricação (industrial ou artesanal), perícia no artesanato e informação dos construtores acerca do que seria o resultado desejável, em termos de sonoridade, para um violino.

Via de regra, violinos de fabricação industrial não são considerados de qualidade “profissional” pelos musicistas. O que define, porém, tal qualidade, é de difícil descrição em termos de características objetivas. Uniformidade dos registros, manutenção das características de timbre em diferentes níveis de dinâmica, projeção sonora, são expressões peculiares utilizadas por *luthiers* e instrumentistas, por exemplo, como critérios de qualidade; porém, a definição de tais características só é possível por meio de comparação entre instrumentos, na ausência de “valores” definidos que possam ser atribuídos a tais observações. Muitas vezes, são nuances relativamente sutis, que escapam à percepção, mesmo, de musicistas profissionais de outros instrumentos. Para leigos, causa grande espanto a variação de preço existente entre as diferentes categorias de instrumentos, que alcança a escala de poucas centenas de reais a dezenas de milhares de dólares, não entrando aqui no campo dos instrumentos com valor histórico agregado à excelência da luteria, quando então a escala atinge, facilmente, cifras na casa dos milhões de dólares, como é o caso dos célebres Stradivarius e outros violinos antigos, principalmente italianos.

Tendo em mente esse contexto, os instrumentos selecionados foram classificados em três categorias: violinos industriais de uso restrito a iniciantes, violinos semi-

artesanais/indefinidos, de qualidade mediana (bons instrumentos de estudo ou semiprofissionais) e instrumentos artesanais de qualidade profissional.

Na condição de violinos industriais foram selecionados dois instrumentos de fabricação chinesa.⁴⁸ Nessa categoria há certa variação de preço, definida por diferentes modelos, de acordo com os materiais utilizados e o cuidado no processo de fabricação descrito pelos fabricantes. Ambos foram feitos com madeiras diferentes das consideradas de melhor qualidade para a construção de violinos (uma das características desse tipo de instrumento é serem consideravelmente mais pesados do que os instrumentos artesanais, devido sobretudo ao corte industrial do tampo e do fundo). Da mesma forma, o verniz aplicado nesses instrumentos está em desacordo com o adotado pelos *luthiers*, um verniz mais fino e translúcido, enquanto que no caso dos violinos chineses, o verniz assemelha-se mais ao aplicado a outros instrumentos de corda, principalmente violões. Dentre os utilizados na pesquisa, um é representante dos modelos industriais mais baratos e o outro dos modelos intermediários de fábrica:

- violino da marca Eagle, modelo VE244, de fabricação posterior ao ano 2000, representante dos modelos medianos, indexado na pesquisa como vln1;
- violino da marca Tagima, modelo Allegro 1100, de fabricação posterior ao ano 2000, representante dos modelos mais baratos. Em princípio seria o instrumento de pior qualidade analisado; indexado na pesquisa como vln5;

Como representantes de instrumentos semi-artesanais/indefinidos (considera-se em tal classificação instrumentos de corte industrial e montagem manual, com certo cuidado na finalização, além da utilização de madeiras de melhor qualidade do que as utilizadas nos produtos industriais chineses citados, nos vários componentes), considerados bons instrumentos para estudantes, médios ou avançados, e uso profissional restrito:

- violino de origem alemã, de fabricação semiartesanal, baseado em modelo Stradivarius de 1722; provavelmente fabricado na década de 1970, apresenta o verniz típico de violinos artesanais. Foi indexado na pesquisa como vln6;

⁴⁸ O mercado de violinos industriais, atualmente, como em muitas outras áreas, é amplamente dominado pelas fábricas chinesas. Mesmo instrumentos de marcas nacionais, como a Michael, por exemplo, têm origem nas fábricas chinesas, recebendo apenas o nome do distribuidor nacional ao serem comercializados no Brasil.

- violino provavelmente artesanal de origem e autor desconhecidos, de origem provavelmente alemã, de fins do século XIX; instrumento mais antigo utilizado na pesquisa, apresenta madeiras adequadas em seus vários componentes, sendo recoberto por verniz igualmente apropriado. Apresenta ligeira variação em suas medidas, sendo um pouco menor do que a média do padrão adotado atualmente (questão de milímetros); foi indexado na pesquisa como vln2;

Instrumentos de qualidade superior de uso profissional, feitos integralmente de forma artesanal por *luthiers* qualificados, empregando em sua construção somente madeiras de primeira qualidade devidamente tratadas, verniz específico e acabamento diferenciado:

- violino artesanal, fabricado em Belo Horizonte, no ano de 2009 por Eduardo Matos Gaspar; construído com madeiras de boa qualidade e acabamento sofisticado; foi indexado na pesquisa como vln4;
- violino artesanal de fabricação francesa, de Maurice Bourguignon, datado de 1944. Instrumento de excelente qualidade, materiais, acabamento e luteria de alto padrão. Em princípio, o melhor instrumento analisado; foi indexado na pesquisa como vln3;

Os violinos analisados, portanto, foram classificados e indexados conforme exposto no quadro 1:

Quadro 1 - instrumentos utilizados na amostragem

classificação do instrumento	número do instrumento na indexação da pesquisa
industrial	vln1 e vln5
semiartesanal/indefinido	vln2 e vln6
artesanal	vln3 e vln4

4.2 As surdinas selecionadas para a pesquisa

4.2.1 Surdina 1: “Tourte”



Figura 4.1 – surdina 1 sendo utilizada em posição central (fonte: imagem própria)

Essa surdina (figs. 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4) de formato circular e pequeno porte, tendo um único dente para fixação no cavalete, foi selecionada para a pesquisa devido à sua grande popularidade entre os instrumentistas. Por ser de fácil utilização e, também, de baixo custo⁴⁹, seu uso é bastante difundido entre os músicos de orquestra. Há, também, versões do mesmo modelo para viola, violoncelo e contrabaixo. Possui dois orifícios centralizados lado a lado, por meio dos quais é acoplada às cordas, ficando suspensa nas mesmas, entre o cavalete e o estandarte, quando em posição de repouso (fig. 4.3). Para ser acionada, o musicista a desloca até o cavalete, passando seu único dente por cima do mesmo, pressionando-a contra ele, de tal forma que fica encaixada em seu topo. Pode ser acoplada ao cavalete em três posições (de duas em duas cordas), sendo, porém, a utilização mais comum na posição central (nas cordas Lá e Ré).

⁴⁹ Kenneth Sarch observa, em seu já citado artigo “*CON SORDINO: The Art of the Mute*”, que um dos fatores considerados pelos músicos para a escolha do tipo de surdina a ser adquirida é, justamente, o preço; assim como a facilidade de utilização, segundo o autor, são mais considerados para a escolha do dispositivo do que questões de natureza de uso específico ou estéticas: “*Contemporary string players tend to choose mutes for reasons of convenience and expediency (and sometimes price) over artistic reasons—not choosing a mute for its tone quality and dynamic level.*” (SARCH, 2017, p. 24) Tradução nossa: “Instrumentistas de cordas contemporâneos tendem a escolher surdinas por razões de conveniência e facilidade (algumas vezes o preço) acima de razões artísticas – não escolhendo uma surdina pela qualidade de sua sonoridade e alteração na dinâmica”.



Figura 4.2 – surdina 1 – “Tourte”, em tamanho real
(fonte: imagem própria)

Características físicas:

Material: borracha semi-flexível;

Dimensões: 1,9cm de diâmetro x 0,8cm parte superior (mais grossa) e 0,4cm parte inferior (mais fina);

Peso: 1,85 gramas;



Figura 4.3 – surdina 1 em posição de repouso, nas cordas 2 e 3
(fonte: imagem própria)



Figura 4.4 – imagem das três surdinas utilizadas na pesquisa em tamanho real.
(fonte: imagem própria)

4.2.2 Surdina 2: Ébano



Figura 4.5 – surdina 2 sendo utilizada em posição central
(fonte: imagem própria)

Surdina feita de madeira (ébano), de fabricação indiana (fig. 4.4, 4.5 e 4.6). Tem o formato aproximado de um garfo, com três dentes, sendo esse design bastante representativo das surdinas mais “clássicas”. Dos três modelos estudados é o mais antigo. Até a popularização das surdinas feitas de borracha ou materiais sintéticos era muito comum nas orquestras. Pode ser acoplada ao cavalete, também, em três posições, entre os espaços existentes entre as cordas, sendo, porém, a utilização mais comum na posição central (com o seu dente do meio colocado entre a 2^a e 3^a cordas). Produz, porém, um efeito muito forte, se comparada à surdina “tourte”, em termos de alteração tanto da intensidade quanto do timbre. Em vídeos na internet é comumente citada, atualmente, como sendo uma “surdina de estudo”.



Figura 4.6 – surdina 2, em tamanho real
(fonte: imagem própria)

Características físicas:

Material: madeira ébano (*Diospyros ebenun*);

Dimensões: 2,8cm x 3,2cm x 0,75cm (comprimento x altura x largura);

Peso: 5,70 gramas;

4.2.3 Surdina 3: Metálica (“de estudo”/abafador)



Figura 4.7 – abafador de metal em posição de uso
(fonte: imagem própria)

Modelo de “surdina de estudo” (fig. 4.4, 4.7 e 4.8), confeccionada em metal cromado (não especificado pelo fabricante), com quatro dentes, só possui uma posição de encaixe, cobrindo toda a superfície do cavalete. De peso muito superior ao das outras duas surdinas analisadas na pesquisa, produz um efeito nitidamente mais forte do que as outras, sobretudo em relação à alteração na intensidade do som dos instrumentos, que sofre uma grande atenuação. A alteração no timbre também é nitidamente acentuada,

gerando um som classificado pelos violinistas em geral como “magro” e “metálico”, o que sugere uma igualmente forte alteração no espectro sonoro do som emitido pelo instrumento.

Utilizada amplamente por estudantes e instrumentistas em viagem, que muitas vezes não tem um ambiente específico para estudo, tendo que exercitar o instrumento em áreas sem maior preparo acústico, como apartamentos e quartos de hotel. Em diferentes apresentações (com mais ou menos dentes, pouco mais ou menos pesada, de efeito um pouco mais fraco ou forte), o “abafador” (como é muitas vezes chamada em português) tornou-se um item quase obrigatório no equipamento básico dos instrumentistas, como estante de partituras ou metrônomo, sobretudo de estudantes. Não obstante, em seu método de violino, Carl Flesch adverte a respeito da prática contínua com “surdinas de estudo”, que pode levar a uma percepção equivocada da própria sonoridade: *“The customary muted practicing should be repudiated, since the artificial tone production deceives the ear, gives it a false impression, and makes the tone appear more beautiful than it really is”*⁵⁰ (FLESCH, 1930).



Figura 4.8 - surdina 3, em tamanho natural
(fonte: internet, sem autoria)

Características físicas:

Material: metal cromado;

Dimensões: 5cm x 2cm x 1,1cm (comprimento x altura x largura);

Peso: 44,9 gramas;

⁵⁰ “A costumeira prática com surdina deve ser repudiada, já que a sonoridade artificialmente produzida engana o ouvido, levando a uma falsa impressão, fazendo a sonoridade parecer mais bela do que realmente está.” (tradução nossa)

4.3 Descritores acústicos utilizados para análise

4.3.1 RMS (Root Mean Square)

É possível descrever qualquer grandeza positiva ou negativa utilizando o valor quadrático médio da respectiva grandeza. Considerando-se que a energia aproximada de um sinal sonoro é normalmente estimada pelo envelope de amplitude do mesmo, pode-se converter os diversos valores amostrados dentro de determinado intervalo de tempo em um único valor eficaz, denominado *Root Mean Square* (RMS)⁵¹, relacionado à potência média de curta duração do sinal (TEMPELAARS, 2014, p. 16). Como representado no gráfico 4.1, para tanto, eleva-se o valor instantâneo de um sinal ao quadrado, toma-se a média do mesmo e extrai-se, então, a raiz quadrada desse valor. Esse procedimento define o RMS, de tal forma que mesmo quando o valor instantâneo do sinal for negativo, o seu quadrado será positivo, e o RMS nunca será igual a zero (a não ser que o valor instantâneo seja nulo em todos os instantes) (YOUNG; FREEDMAN, 2009).

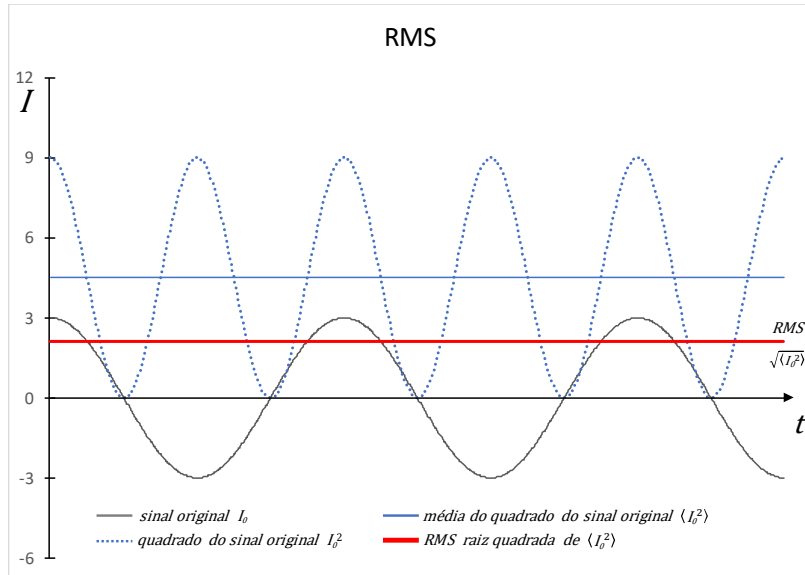


Gráfico 4.1 – Gráfico de I (valor do sinal) x t (tempo) representando o cálculo do RMS de uma grandeza senoidal, onde I_0 representa o valor instantâneo (no exemplo, valor igual a 3), I_0^2 o quadrado do valor instantâneo (igual a 9), $\langle I_0^2 \rangle$ a média de I_0^2 (igual a 4,5) e, finalmente, o RMS: valor 2,12.

(fonte: adaptação de YOUNG; FREEDMAN, 2009, p. 348)

⁵¹ “Raiz quadrada da média dos quadrados” (tradução nossa)

Pode-se dizer que o valor RMS é, perceptualmente, mais representativo da maneira como o ouvido humano percebe a intensidade do som, do que valores médios simples:

RMS values have another benefit in audio measurements. They are similar to, but not the same as, average values. The average value of a signal does not change much even when there are very high level transiente peaks. Conversely, the peak level can vary wildly without a major effect on average level. When we wish to evaluate the loudness of a signal (the perceived level by a human listener), the RMS value corresponds more closely with the sensitivity of our ears to audio energy.⁵² (DAVIS; JONES, 1990, p. 27)

O valor RMS de um sinal x é dado 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).

Para o cálculo do RMS, no presente trabalho, considerou-se uma taxa de amostragem de 44.100 Hz, sendo utilizada uma janela de Hamming de 1024 amostras (23 ms⁵³ cada), com superposições de 256 (5,8 ms) entre as amostras.

4.3.2 Espectro Harmônico

Conforme teoria de 1822, do matemático francês Jean-Baptiste Joseph Fourier (1768-1830), conhecida como Transformada de Fourier, uma onda sonora complexa pode ser decomposta em frequências simples que a representam, chamadas parciais. Enquanto mudanças de fase das diferentes parciais de um som complexo tem pouco efeito em nossa percepção do timbre, alterações na intensidade das mesmas têm um grande impacto em nossa percepção. Quando as parciais de uma determinada frequência fundamental se

⁵² “Valores RMS têm outro benefício em medições de áudio. Eles são semelhantes, mas não iguais, aos valores médios. O valor médio de um sinal não muda muito, mesmo quando ocorrem transientes com picos de nível altos. Da mesma maneira, o nível de pico pode variar muito, sem um efeito significativo no nível médio. Quando desejamos avaliar a intensidade de um sinal (como é percebida por um ouvinte humano), o valor RMS representa melhor a sensibilidade de nossos ouvidos à energia de áudio”. (tradução nossa)

⁵³ ms – milissegundo

apresentam como múltiplos inteiros da mesma são denominadas parciais harmônicas ou, simplesmente, harmônicos (CAMPBELL; GREATED, 1987; LAZZARINI, 1998). Tal característica está presente no som gerado pela maioria dos instrumentos musicais ocidentais e é relacionada diretamente à percepção do timbre dos mesmos:

Por exemplo, a descrição qualitativa de um som brilhante correlaciona-se com espectros que possuem muita energia nas frequências altas, ou seja componentes agudas com amplitudes bem significativas. Sons com harmônicos pares faltando são auditivamente relacionados com aqueles do clarinete. A maioria dos sons percussivos têm espectros que não são harmônicos (ou seja fora das relações de números inteiros), como por exemplo, os sinos, que possuem um espectro altamente inarmônico. Alguns instrumentos possuem harmônicos levemente "desafinados", o que contribui para a riqueza de certos timbres, como o piano. (LAZZARINI, 1998, p.32)

O espectro, portanto, representa as propriedades de uma onda sonora no domínio da frequência, mostrando as amplitudes relativas das parciais componentes de um som. Para conversão do sinal de áudio digitalizado do domínio do tempo para o domínio da frequência é utilizado um algoritmo conhecido como *Fast Fourier Transform*⁵⁴ (FFT). O mesmo foi desenvolvido, em 1965, para diminuir o número de cálculos requeridos para a Transformada de Fourier, ao decompor uma função temporal em suas frequências constituintes, por James William Cooley e John Wilder Tukey (COOLEY; TUKEY, 1965).

Na presente pesquisa, para a seleção dos harmônicos, foi utilizada uma heurística que consistiu na seleção dos picos de energia mais próximos aos múltiplos das frequências fundamentais, identificados em cada janela de FFT processada. Assim como para o RMS, a taxa de amostragem empregada foi de 44.100 Hz, sendo utilizada uma janela de Hamming de 1024 amostras (23 ms cada), com superposições de 256 (5,8 ms) entre as amostras, e zero padding. Tanto a identificação da frequência fundamental, quanto dos seus harmônicos, foi realizada utilizando uma FFT com 2^{15} pontos de resolução.

⁵⁴ "Transformada Rápida de Fourier" (tradução nossa)

4.3.3 LTAS (Long Term Average Spectrum)

A *Long Term Average Spectrum* pode ser considerada uma ferramenta para se analisar as características espectrais de um registro sonoro capaz de fornecer uma visão geral do mesmo, por meio da representação da 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).

Basicamente, em um sinal de áudio não segmentado são aplicados diferentes filtros com larguras de banda definidas em função dos objetivos a serem atingidos com a análise. É processada, então, uma média da energia espectral detectada em cada banda, acumulada ao longo da leitura de todo o sinal. O resultado final é apresentado na forma de um espectro que representa a média das componentes parciais de todo o áudio analisado.

Como observa Campbell: “*A convenient way to carry out spectral measurements over a wide range of different notes on the instrument is to obtain a long-time-average spectrum*”⁵⁵ (CAMPBELL; GREATER, 1987, p. 155). Tal abordagem mostrou-se extremamente adequada à presente pesquisa, dada a grande quantidade de notas analisadas, sobretudo, considerando-se os registros feitos pelos diferentes sujeitos nos seis violinos. Da mesma forma, a LTAS mostrou-se capaz de diferenciar de maneira sistemática as condições de estudo pesquisadas.

⁵⁵ “Uma maneira conveniente de realizar medições espectrais em uma ampla faixa de notas diferentes no instrumento é obter um média espectral de longa duração.” (tradução nossa)

4.4 Definição das amostras do som dos violinos

4.4.1 Extensão do instrumento analisada

Cada amostra abarcou uma sequência cromática de uma oitava de extensão para cada corda do instrumento, com exceção da primeira corda (Mi), na qual a extensão foi ampliada em uma quinta além da oitava da corda (até o Si6), alcançando a maior parte da extensão usual do instrumento.

Essa amostragem implicou no registro de uma mesma nota (mesma altura) em cordas diferentes, procedimento essencial para obtermos uma caracterização mais abrangente da sonoridade do violino, pois, cada corda do instrumento possui um timbre bastante particular, diferindo bastante a intensidade e a sonoridade de uma mesma nota tocada em cordas diferentes⁵⁶. Devido à extensão limitada a uma oitava por corda, nenhuma nota foi tocada em mais de duas cordas. Do Ré4 ao Lá5, com exceção do Sol#4, Ré#5, que só são tocados em uma corda, respectivamente na Ré e na Lá, todas as demais notas desse intervalo são tocadas em duas cordas: do Ré4 ao Sol4 nas cordas Sol e Ré, do Lá4 ao Ré5 nas cordas Ré e Lá e do Mi5 ao Lá5, nas cordas Lá e Mi; as demais notas, as graves, do Sol3 ao Dó#4, na corda Sol (só existem no instrumento nessa corda), e as agudas, a partir do Lá#5, são tocadas, na presente amostragem, unicamente na corda Mi⁵⁷.

As amostras abarcam, dessa forma, 59 notas, 13 em cada uma das cordas Sol, Ré e Lá, mais 20 na corda Mi (quadro 2), limitadas às alturas inclusas entre o Sol3 e o Si6, num total, portanto, de 41 frequências fundamentais distintas.

⁵⁶ Fato bem conhecido de compositores e intérpretes em geral, que identificam características bem específicas de timbre em cada corda e, conseqüentemente, atributos expressivos próprios a cada uma delas, como pode ser exemplificado pela descrição feita pelo maestro Sergio Magnani em seu livro “Expressão e Comunicação na Linguagem da Música”, quando discorre acerca do violino: “Outro campo aberto à fantasia do compositor ou do intérprete é o da corda a ser escolhida para determinada frase, pois a mesma nota pode ser executada em diferentes posições, em mais de uma corda. De fato, cada uma das quatro cordas do instrumento tem a sua própria personalidade. A primeira é brilhante, aberta, penetrante; a segunda, suave e ternamente patética; a terceira, nobre e intimamente afetuosa; a quarta, apaixonada e dramática, com possibilidades de alcançar uma dura agressividade.” (MAGNANI, 1989, p. 242)

⁵⁷ Procedimento similar foi adotado por Saunders para definir a amostragem para seu Teste de Intensidade (SAUNDERS, 1937), com a diferença que em seu estudo foram tocadas duas oitavas completas na corda Mi; considerando-se, porém, as diferentes qualidades dos instrumentos a serem amostrados – e suas limitações – e o uso mais comum das surdinas, menos empregadas na região super aguda do instrumento, a amostragem feita até o Si6 foi considerada suficiente para os objetivos do presente estudo.

Quadro 2

Extensão amostrada dos instrumentos por corda				
4ª corda Sol	3ª corda Ré	2ª corda Lá	1ª corda Mi (1ª oitava)	1ª corda Mi (2ª oitava)
Sol3	Ré4	Lá4	Mi5	Fá6
Sol#3	Ré#4	Lá#4	Fá5	Fá#6
Lá3	Mi4	Si4	Fá#5	Sol6
Lá#3	Fá4	Dó5	Sol5	Sol#6
Si3	Fá#4	Dó#5	Sol#5	Lá6
Dó4	Sol4	Ré5	Lá5	Lá#6
Dó#4	Sol#4	Ré#5	Lá#5	Si6
Ré4	Lá4	Mi5	Si5	
Ré#4	Lá#4	Fá5	Dó6	
Mi4	Si4	Fá#5	Dó#6	
Fá4	Dó5	Sol5	Ré6	
Fá#4	Dó#5	Sol#5	Ré#6	
Sol4	Ré5	Lá5	Mi6	
notas tocadas apenas em uma corda	mesmas notas tocadas nas cordas Sol e Ré	mesmas notas tocadas nas cordas Ré e Lá	mesmas notas tocadas nas cordas Lá e Mi	

4.4.2 Ampliação da amostra por meio de repetições das notas

Buscando alcançar uma maior representatividade para a amostragem e levando-se em conta a oscilação nas características do som emitido ao longo de cada nota – em relação à intensidade e à estabilidade espectral – foi definida a repetição, em sequência, de cada nota, quatro vezes, utilizando-se o golpe de arco adotado como padrão (que será especificado no Protocolo de Execução Instrumental⁵⁸), duas vezes com o movimento do arco para baixo, duas vezes para cima, alternadamente.

A partir da média dos resultados obtidos com tal procedimento, tanto em relação à aferição de intensidade, quanto em relação à análise espectral, espera-se uma melhor definição das características acústicas identificadas na sonoridade dos instrumentos, além de possibilitar uma análise do grau e da natureza das instabilidades observadas nas amostras.

⁵⁸ Vide Apêndice A

4.4.3 Ampliação da amostra por meio do número de participantes

Objetivando ainda uma maior quantidade de sons registrados, mais representativa do comportamento da sonoridade dos violinos estudados ao serem tocados, cada amostra foi reproduzida por três sujeitos diferentes.

Tal procedimento procurou, também, considerar o impacto que diferenças individuais de técnica possam, eventualmente, acarretar nas características dos áudios registrados, além de permitir uma comparação dos resultados do Protocolo de Execução Instrumental quando adotado por diferentes indivíduos.

Foram selecionados para participar da pesquisa, portanto, três violinistas profissionais. Como critério de seleção foi definido, além da atuação profissional como musicista, formação mínima de bacharelado no instrumento, embora, os três selecionados finais que fizeram as gravações tenham, todos, pós-graduação (mestrado), e dois deles sejam doutorandos em performance musical no Programa de Pós-Graduação da Escola de Música da UFMG.

Cada um dos sujeitos participantes do estudo registrou uma amostra completa com cada um dos seis instrumentos analisados, nas quatro condições de estudo.

4.5 Protocolo de execução instrumental das amostras

4.5.1 Condições gerais

Cada instrumento utilizado foi afinado com auxílio de um afinador eletrônico, corda por corda, no padrão de afinação do temperamento igual⁵⁹, com diapásão em 440Hz para o Lá4. Foi definido que os instrumentos deveriam estar com cordas com pelo menos dez dias de uso, e que não fossem substituídas ao longo dos registros.

⁵⁹ Forma de temperamento (maneira pela qual os intervalos musicais são divididos em uma escala) adotado atualmente como padrão no ocidente, no qual a oitava é dividida em 12 semitons exatamente iguais. Consequentemente, ocorre uma ligeira discrepância em relação aos intervalos calculados diretamente a partir dos sons harmônicos, notadamente nas quintas (ligeiramente mais baixas do que seriam) e nas terças (ligeiramente mais altas). Considera-se, porém, que tal discrepância é bem “tolerada” pelo ouvido, resolvendo a questão do fechamento do ciclo das quintas, o que, por sua vez possibilitou, o pleno desenvolvimento da música tonal.



Figura 4.9 – detalhe das marcas colocadas na corda Sol (parte inferior da imagem) para servirem de guia para os instrumentistas. (fonte: imagem própria)

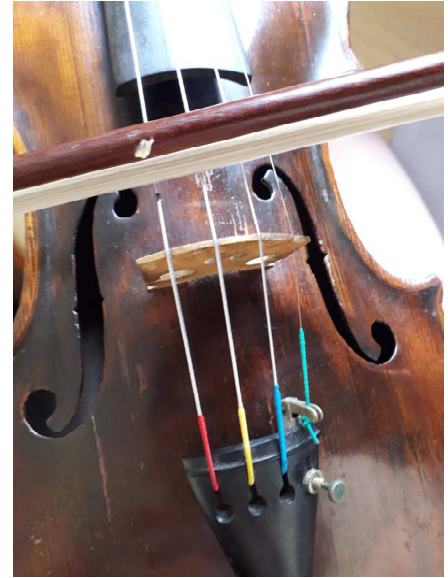


Figura 4.10 – arco, com a marca na metade da extensão de crina, posicionado entre as marcas da guia sobre a corda Sol. (fonte: imagem própria)

Todos os violinos receberam na quarta corda (Sol) duas pequenas marcas, feitas com caneta, delimitando o ponto de contato a ser adotado pelos executantes durante as amostragens. Tal marca 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 espelho e o cavalete, ficando, portanto, mais próxima a este do que ao espelho (fig. 4.9 e 4.10).

Foi utilizado em todas as gravações um mesmo arco, confeccionado com madeira de Pernambuco (*Caesalpinia echinata*), que recebeu crina natural nova pouco antes do início dos registros de áudio. O feixe de crina desse arco mede 65 cm de comprimento por 1,2 cm de largura, em média⁶⁰. Foi feita uma pequena marca na vareta do arco, no meio da extensão da crina (32,5 cm), para maior sincronização da velocidade de deslocamento do arco com o metrônomo (fig. 4.10 e 4.11).

⁶⁰ Em artigo intitulado “*Effect of the width of the bow hair on the violin string spectrum*”, os autores desenvolvem estudo relacionando a largura do feixe de crina do arco, além de outros fatores, a alterações espectrais do som emitido. (SCHOONDERWALDT; GUETTLER; ASKENFELT; 2003)



Figura 4.11 – arco utilizado nas gravações com a marca para orientação dos instrumentistas feita no meio da extensão de crina do mesmo. (fonte: imagem própria)

Antes da gravação de cada amostra completa (toda a extensão analisada em uma das condições – sem ou com uma das surdinas) foi passada uma mesma resina no arco, em toda a extensão da crina, seis vezes seguidas, de forma contínua e suave, alternando-se o movimento nos dois sentidos.

4.5.2 Execução instrumental

Os sujeitos selecionados como instrumentistas para a pesquisa receberam um guia intitulado “Protocolo de execução das amostras” (Apêndice A) contendo as instruções descritas na presente seção para que as gravações fossem realizadas com a padronização almejada. Além disso, ao longo das gravações, o diálogo constante com os instrumentistas esclareceu, sempre que necessário, questões relativas à performance. Dois dos sujeitos participaram de testes para a definição do “Protocolo de execução das amostras”, antes das gravações definitivas utilizadas na pesquisa.

Todos os sujeitos participantes tocaram os instrumentos para os registros sentados. Cada participante fez as gravações utilizando um fone de estúdio por meio do qual ouviu o metrônomo e uma trilha guia MIDI (sintetizada com som de clarinete, por praticamente não ter vibrato), com a sequência a ser tocada registrada utilizando-se o temperamento igual como base para a afinação⁶¹.

Não foi definida nenhuma digitação específica para a mão esquerda, cabendo a cada músico a escolha da digitação que considerasse a mais adequada, tendo sido dada, porém, a recomendação para que se evitasse, tanto quanto possível, *glissandos*. Para tanto

⁶¹ Diante da considerável variação de afinação característica dos instrumentos de arco, não temperados, que transitam por diferentes sistemas de afinação, de acordo com o contexto musical em que o músico se encontra, optou-se pela utilização da guia com a sequência cromática afinada com o temperamento igual a fim de se evitar efeitos acústicos decorrentes de tal variação. Como a ressonância geral do instrumento está relacionada às frequências selecionadas pelo instrumentista ao tocar, sobretudo em relação à afinação por simpatia, essa medida foi considerada uma forma de padronização, apesar de não ter agradado a nenhum dos três executantes, que consideraram o padrão do temperamento igual, adotado de maneira fixa, “artificial”, observação que será levada em consideração em futuras pesquisas.

foi sugerido que se fizesse o mínimo de mudanças de posição⁶², como, por exemplo, fazer-se uma única mudança para a 4ª posição. Não foi, porém, exigida essa mudança única como padrão, não tendo sido a mesma adotada sempre pelos sujeitos.

Os instrumentistas foram instruídos a tocar sem nenhum vibrato (sonoridade o mais contínua possível), com *détaché*⁶³, o mais forte possível, dentro das seguintes condições: ponto de contato delimitado pelas marcas feitas na corda Sol, como descrito anteriormente, e valendo-se de toda a extensão da crina do arco, inclinando-se a vareta do mesmo o mínimo possível⁶⁴, somente o indispensável para o controle da qualidade da sonoridade próximo ao talão, seguindo duas batidas de metrônomo a 60 BPM para cada arcada, sincronizando a segunda batida de cada nota com a marca feita na vareta do arco no meio da extensão da crina do mesmo.

As gravações foram divididas em duas sequências cromáticas, repetindo-se cada uma das notas quatro vezes:

- primeira sequência: inicia na corda Sol solta (Sol3) seguindo até a oitava da mesma, continuando, sem interrupção, na próxima corda (terceira, Ré), repetindo-se o procedimento até a corda Mi, na qual interrompe-se a sequência no Ré#6, antes da oitava da corda solta; a primeira sequência, portanto, vai ser gravada, sem interrupções, nas quatro cordas, das graves para as agudas, do Sol3 ao Ré#6;
- segunda sequência: inicia-se com a oitava da primeira corda, o Mi6, e executa-se a sequência cromática até o Si6, da mesma forma que na primeira sequência; abrangerá, portanto, o começo da região superaguda (do Mi6 ao Si6), na corda Mi apenas;

⁶² Mudança de posição: Técnica de mão esquerda utilizada nos instrumentos de arco, que consiste em deslocar a mão ao longo do braço do instrumento, de maneira a cobrir toda a extensão dos mesmos.

⁶³ Golpe de arco 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)

⁶⁴ Faz parte da técnica dos instrumentos de arco alterar a inclinação da vareta do mesmo em relação à corda, ao se aproximar do talão (parte inferior do arco onde o mesmo é seguro pelo instrumentista), diminuindo, dessa forma, a quantidade de crina a ter contato com a corda. Tal procedimento é utilizado, principalmente, para ajudar a compensar o excesso de peso do arco nessa região, de forma a se manter maior uniformidade na sonoridade ao se tocar. A inclinação ajuda também a evitar ruídos indesejáveis na emissão do som no extremo talão do arco, controlando de maneira mais eficiente os ataques das notas. O procedimento impacta, também, as características espectrais do som emitido (SCHOONDERWALDT; GUETTLER; ASKENFELT; 2003).

No início de cada uma das duas sequências, a guia de áudio, ouvida pelos instrumentistas por meio do fone de ouvido, reproduziu quatro batidas de metrônomo, definindo o início da execução. A primeira nota de cada sequência (Sol3 na primeira sequência e o Mi6 na segunda) foi repetida 6 vezes, e não quatro, como em todas as demais notas; essas duas repetições iniciais a mais, nestas notas, foram incluídas para que os sujeitos pudessem, com tranquilidade, estabilizar a sonoridade nas condições propostas (ponto de contato fixo e pressão máxima com arco inteiro em 60 BPM), sendo descartadas em posterior edição; fizeram parte da amostra, portanto, apenas as quatro últimas repetições do Sol3 e do Mi6 do início de cada uma das sequências.

4.5.3 Critérios para a definição do protocolo de execução instrumental

Considerou-se para a definição do presente protocolo a relação entre os três parâmetros básicos de utilização do arco, discutidos anteriormente na seção 2.6 (A arcada: uma equação de três variáveis): velocidade de deslocamento do arco, pressão do arco contra a corda e ponto de contato do arco com a corda. Considerando-se as implicações dessa relação, o presente protocolo fixou dois dos parâmetros:

- o ponto de contato: definido pela colocação das duas marcas na corda Sol, delimitando uma área de 1,3 cm (pouco maior que a largura da crina do arco, de maneira a possibilitar um pequeno ajuste à medida que se toca a escala cromática em cada corda), fixado a partir do meio da distância entre o fim do espelho e o cavalete, em direção a este (fig. 4.9 e 4.12).
- 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 (sessenta batidas por minuto), com dois tempos para cada arcada; para reforçar a regularidade da velocidade, os sujeitos foram instruídos a sincronizar a segunda batida de cada nota com a marca feita no meio da extensão da crina do arco (fig. 4.10 e 4.11); a velocidade média de deslocamento do arco, portanto, ficou estabelecida em aproximadamente 32 cm/seg.

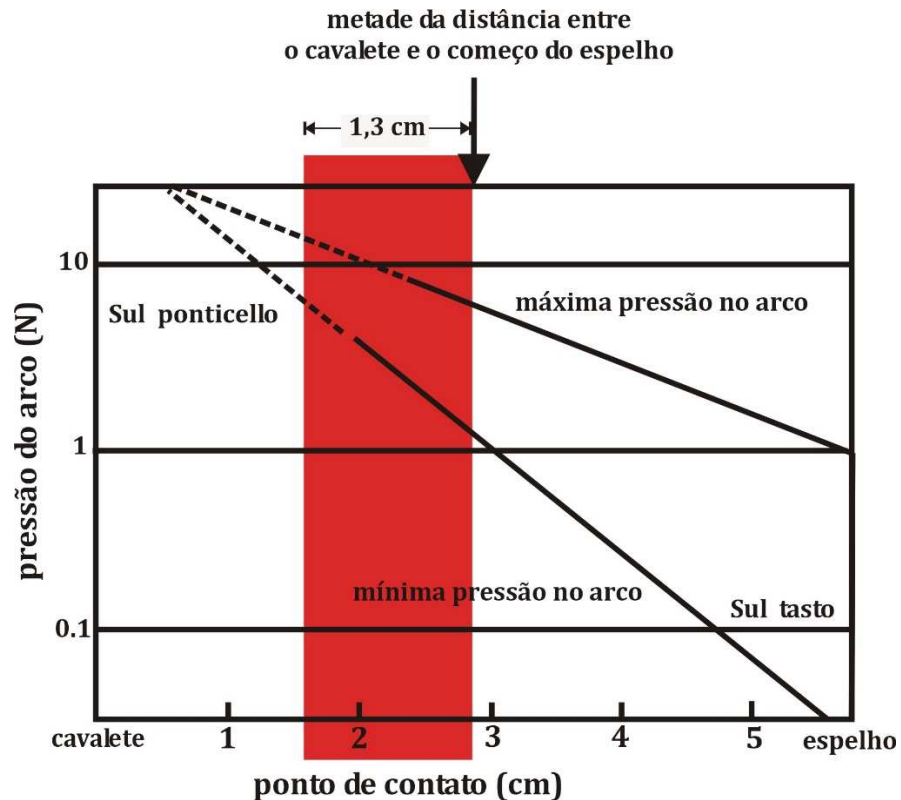


Figura 4.12 – Ponto de contato adotado para a execução das amostras em relação ao diagrama de Schelleng. A faixa vermelha, com a largura de 1,3 cm, representa a área do mesmo, tendo sido delimitada pelas duas marcas feitas na corda Sol.

(fonte: adaptado de SCHELLENG, 1973 apud FLETCHER; ROSSING, 2012, p. 279)

Quanto à terceira variável, a pressão exercida com o arco sobre a corda, a mais difícil de ser mensurada pelo sujeito executante (não há nenhum parâmetro objetivo para determinar ou descrever a pressão exercida pelo instrumentista), 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 de qualidade (evitando-se rangidos ou outras falhas na emissão do som) dentro das condições estabelecidas. Como foi definido por Schelleng (fig. 4.12), em 1973: para uma velocidade de arco constante, existe um limite de pressão mínima e máxima suportada em um dado ponto de contato, para que a corda entre em vibração conforme o movimento de Helmholtz (SCHELLENG, 1973 apud FLETCHER; ROSSING, 2012). Considerou-se, portanto, que, tendo sido fixadas as outras duas variáveis, a instrução para tocar o mais forte possível levaria à utilização da “pressão máxima possível” nas condições

especificadas, tendendo a não haver uma variação significativa na pressão utilizada pelos instrumentistas ao tocarem.

4.6 Equipamentos utilizados na pesquisa

4.6.1 Interface de áudio

Foi utilizada uma mesma interface de áudio da marca Focusrite, modelo Scarlett 214, de dois canais, com conexão USB com o computador com as seguintes especificações técnicas:

Taxas de amostragem suportadas: 44.1kHz, 48kHz, 88,2kHz, 96kHz, 176,4kHz e 192kHz.

Entrada de microfones:

Faixa dinâmica: 106 dB (ponderação A);

Resposta de frequência: 20 Hz – 20 kHz, $\pm 0,1$ dB;

THD+N < 0,002 % (ganho mínimo, entrada de -1 dB FS com filtro passa-banda 22 Hz/22 kHz)

Ruído equivalente > -126 dB (ponderação A)

Nível de entrada máximo: +4 dBu

Faixa de ganho 50 dB

Entrada em linha:

Faixa dinâmica: 106 dB (ponderação A);

Resposta de frequência: 20 Hz – 20 kHz, $\pm 0,1$ dB;

THD+N < 0,003 % (ganho mínimo, entrada de -1 dB FS com filtro passa-banda 22 Hz/22 kHz)

Nível de entrada máximo +22 dBu

Faixa de ganho: 50 dB

Entrada para instrumentos:

Faixa dinâmica: 106 dB (ponderação A);

Resposta de frequência: 20 Hz – 20 kHz, $\pm 0,1$ dB;

THD+N < 0,002 % (ganho mínimo, entrada de -1 dB FS com filtro passa-banda 22 Hz/22 kHz)

Nível de entrada máximo: +13 dBu

Faixa de ganho: 50 dB

Saídas em linha e monitores:

Faixa dinâmica das saídas: (1-2) 106 dB (ponderação A)

Faixa dinâmica das saídas: (3-4) 106 dB (ponderação A)

Nível máximo (0 dB FS) das saídas de linha simétricas: +10 dBu

Nível máximo (0 dB FS) das saídas de linha simétrica: RCA +5,5 dBu

THD+N das saídas: (1-2) < 0,001 % (ganho mínimo, entrada de -1 dB FS com filtro passa-banda 22 Hz/22 kHz)

THD+N das saídas: (3-4) < 0,008 % (ganho mínimo, entrada de -1 dB FS com filtro passa-banda 22 Hz/22 kHz)

(fonte: manual do produto fornecido pelo fabricante)

4.6.2 Microfone

Foi utilizado em todas as gravações de áudio um microfone de tipo condensador, de padrão multipolar, da marca M-Audio Solaris. O microfone foi utilizado sempre no padrão polar cardioide (curva de resposta descrita pelo gráfico da figura 4.13).

Especificações técnicas:

Padrões direcionais:

Omnidirecional

Cardioide

Bidirecional

Resposta de frequência: de 20 a 20.000 Hz

Sensibilidade: 16 mV/Pa

Atenuação e filtros:

pré-atenuação: 0dB ou -10dB

filtro: 125Hz HPF (6dB/oitava)

Diâmetro do diafragma: 28mm

Impedância de saída: 200 Ohms

NPS máximo: 130 dB

Ruído equivalente: 14.0 dB(A)

(disponível em: <<http://recordinghacks.com/microphones/M-Audio/solaris#ixzz5Ve0jFdb0>> acesso em: 07/11/2018)

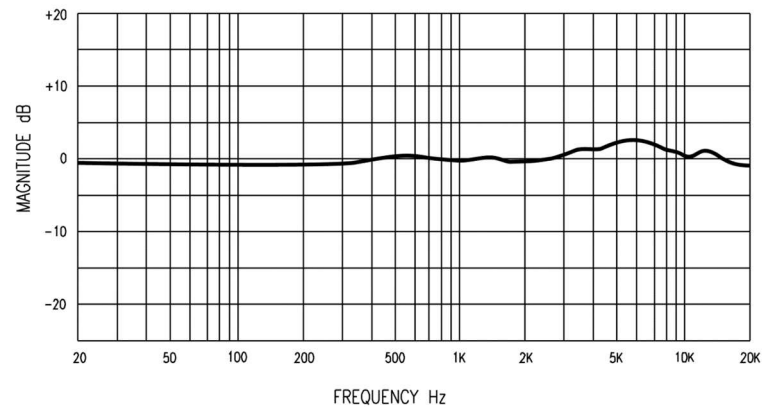


Figura 4.13 - curva de resposta no padrão cardioide do microfone M-Audio Solaris utilizado nas gravações.
(disponível em: <recordinghacks.com/microphones/M-Audio/solaris>
acesso em: 30/05/2018)

4.7 Programas utilizados para as gravações e análise de dados

Foi utilizado o software livre Audacity 2.2.2 para as gravações.

O processamento dos dados acústicos foi realizado utilizando-se a plataforma Matlab. Para tanto, empregou-se um framework desenvolvido pelo laboratório do Centro de Estudos do Gesto e Expressão Musicais (CEGeME) da Escola de Música da UFMG, denominado EXPAN, junto a um script para o pré-processamento, desenvolvido especificamente para a pesquisa, que foram adaptados para o software livre GNU Octave, versão 4.4.1, programa com o qual foi feito o pré-processamento dos arquivos de áudio registrados para a pesquisa e gráficos de espectros harmônicos.

Para obtenção da LTAS dos arquivos de áudio foi utilizado o software livre PRAAT versão 6.0.49.

Para o agrupamento de dados, processamento, análise e confecção de gráficos foi utilizado o Excel do Microsoft Office versão 2016.

Foi utilizado, ainda, para análises estatísticas, o software livre RStudio versão 3.5.1, trabalhando com os dados obtidos por meio do pré-processamento de áudio com o Octave e pelos dados da LTAS fornecidos pelo PRAAT.

4.8 Protocolo de registro de áudio das amostras

Todas as amostras foram gravadas em um mesmo ambiente, o laboratório do CEGeME, na Escola de Música da UFMG, entre os dias 06/09/2018 e 15/03/2019. Esse espaço tem parte de suas paredes tratadas com material acústico e uma das paredes ocupada, em grande parte, por uma janela de vidro para monitoria dos trabalhos desenvolvidos no ambiente, como a maior parte dos estúdios de áudio.

Os sujeitos executantes tocaram sentados em uma cadeira posicionada de maneira fixa no ambiente, de costas para a janela de vidro e de frente para uma das paredes cobertas parcialmente por revestimento acústico. O microfone foi posicionado a 1,10 m de altura, com uma inclinação de 30°, ficando próximo à altura dos instrumentos sustentados pelos executantes ao se sentarem, apontado para o cavalete dos violinos, sendo ajustada a distância do cavalete ao pedestal do microfone em um metro.

Tanto o fone de estúdio (utilizado pelos sujeitos para escuta do metrônomo e da guia da sequência dos sons amostrados gravados com o padrão de afinação do temperamento igual) quanto o microfone foram ligados diretamente à interface de áudio e essa ao computador utilizado na pesquisa, via conexão USB.

Foi utilizada sempre a primeira entrada para microfone da interface, com o ajuste de ganho rigorosamente posicionado na metade da escala em todos os registros. As gravações foram feitas com a taxa de amostragem de 44.1 kHz e 16 bits de resolução.

Para cada amostra foi utilizado um modelo de arquivo do Audacity 2.2.2 que continha: uma faixa com o metrônomo ajustado em 60 BPM; uma faixa com a guia da primeira sequência de gravação, do Sol³ ao Ré^{#6} (repetindo cada nota quatro vezes, menos a primeira, repetida seis vezes); uma faixa com a guia para a segunda sequência de gravação, do Mi⁶ ao Si⁶ (repetindo cada nota quatro vezes, menos a primeira, repetida seis vezes); para cada amostra foi salvo um arquivo nesse modelo, nomeado de acordo com o padrão de indexação adotado e abertas duas novas faixas, uma para cada sequência. Após os dois registros os arquivos foram salvos e reservados para posterior edição.

4.9 Edição e formato final das amostras

4.9.1 Edição das amostras

Após finalizadas as duas sequências de gravação de cada uma das amostras de áudio, estas foram editadas no próprio programa de gravação Audacity 2.2.2 da seguinte maneira: as quatro batidas iniciais do metrônomo são reduzidas a duas (que serão utilizadas no processo de segmentação no pré-processamento) na primeira sequência (iniciada no Sol3) e eliminadas integralmente da segunda sequência (iniciada no Mi6). As duas primeiras notas das seis repetições iniciais de cada sequência (Sol3 e Mi6) são cortadas, igualando estas ao resto da amostra, de tal maneira que todas as notas gravadas contêm quatro repetições tocadas em sequência. A segunda sequência, que inicia com o Mi6, é então colada ao final da primeira, que termina com o Ré#6, seguindo a sequência cromática de maneira contínua. Ao término da quarta repetição do Si6, última nota da amostra, é deixada uma última batida de metrônomo, também necessária ao processo de segmentação.

Após essa edição inicial das faixas gravadas foi feito o direcionamento do metrônomo exclusivamente para o canal esquerdo e a gravação do violino para o canal direito. Essa última apenas, a faixa da direita, que contém o áudio do violino, recebeu um ganho de +5dBs. Por fim, o áudio é exportado em arquivos de formato WAV, preservando a taxa de amostragem original da gravação, ou seja 44.1kHz.

4.9.2 Formato final e número das amostras de áudio

O resultado final de todo o processo, portanto, são arquivos 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 contêm no canal da esquerda a batida de metrônomo a 60 BPM e no canal da direita o registro do som do violino, que inicia após duas batidas do metrônomo, seguindo a sequência de notas descrita anteriormente, num total de 236 sons agrupados em repetições de 4 notas, cobrindo uma oitava cromática de cada uma das três últimas cordas do violino e uma décima segunda na primeira corda, registradas das graves para

as agudas (do Sol3 ao Si6), encerrando a gravação após uma batida de metrônomo após a última nota.

Cada um dos três sujeitos registrou 24 amostras (um arquivo de áudio para cada uma das quatro condições de estudo com cada um dos seis violinos analisados), totalizando, no conjunto da pesquisa, portanto, 72 arquivos de áudio como o descrito acima, gravados pelos três sujeitos.

Cada nota da amostra foi repetida 12 vezes em cada violino, em cada uma das condições de estudo, considerando-se os três sujeitos, e 72 vezes, portanto, considerando-se todos 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.

4.10 Pré-processamento e segmentação de áudio para dados de notas isoladas

Após a finalização dos arquivos de áudio, os mesmos foram processados utilizando o canal com o som do metrônomo para identificar automaticamente os inícios e fins de cada nota. Os mesmos foram detectados a partir dos picos de valores máximos locais extraídos do sinal de áudio do metrônomo. Foi, então, 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 espectral⁶⁵ de toda a extensão da nota (cada nota foi registrada com dois segundos de duração). Tal seleção tendeu, naturalmente, a um recorte central das notas, já que o ataque e o decaimento de cada som, devido ao efeito dos transientes, tende a ter menor estabilidade espectral, nos termos definidos, do que a região central do som gravado (fig. 4.14 e 4.15).

⁶⁵ 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).

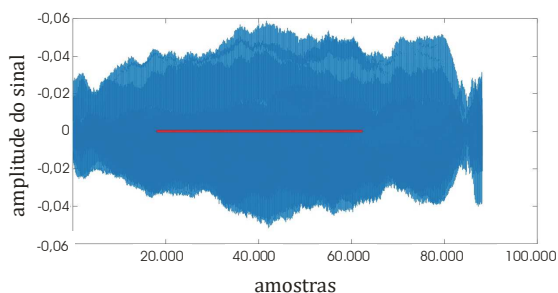


Figura 4.14 – imagem representando a região de análise de 1000 milissegundos definida na segunda repetição da nota Ré4 tocada na terceira corda no vln3 pelo sujeito 3 sem surdina.

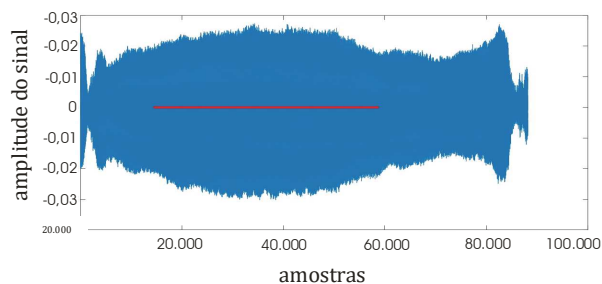


Figura 4.15 – imagem representando a região de análise de 1000 milissegundos definida na quarta repetição da nota Fá6 tocada na primeira corda no vln6 pelo sujeito 2 com a surdina 3.

O método para seleção da região de análise mostrou-se bastante regular, independentemente da condição de estudo na qual foi empregado. Nas quatro condições produziu resultados similares, como se pode observar nas figs. 4.14 e 4.15, respectivamente, sem surdina e com surdina 3. Mesmo quando o registro do som mostrou-se instável, como foi observado muitas vezes nas amostras, sobretudo, em notas tocadas na região superaguda dos instrumentos, onde os sons naturalmente são de difícil emissão, principalmente, nos violinos de pior qualidade, a seleção da região de análise não abarcou o ataque e o decaimento dos sons (fig. 4.16). Da mesma maneira, quando houve, em poucos casos observados, eventual falta de sincronia do executante com o metrônomo, ainda que a região de análise, então selecionada, tenha englobado o início ou o fim da gravação da nota, na verdade, o ataque ou decaimento da mesma, estava fora da seleção, já que, nessa situação, os mesmos não teriam coincidido com o corte definido pelo metrônomo.

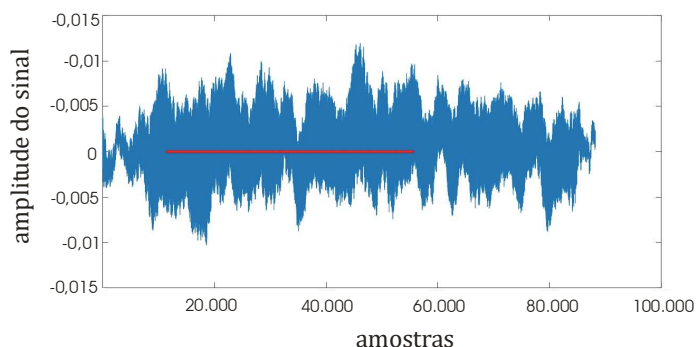


Figura 4.16 – imagem representando a região de análise de 1000 milissegundos definida na terceira repetição da nota Si6 tocada na primeira corda no vln4 pelo sujeito 2 sem surdina.

A partir dessa seleção, o pré-processamento forneceu duas tabelas com os dados relativos a dois dos parâmetros definidos para a pesquisa: a média do RMS, calculado a partir da área de análise selecionada de cada nota observada, a ser convertido em parâmetro de intensidade, e uma tabela com os 40 primeiros harmônicos, selecionados a partir da frequência fundamental estimada de cada nota amostrada.

4.11 Agrupamento de dados e definição de médias de notas isoladas

Para permitir comparações entre as intensidades das notas analisadas e seus espectros harmônicos, nas quatro diferentes condições de estudo, os dados obtidos a partir do pré-processamento (RMS e magnitude de harmônicos) foram reduzidos por meio de médias de acordo com os variados contextos de análise adotados pela pesquisa.

4.11.1 Agrupamento de dados e definição de médias para cálculo de intensidade

Primeiramente, é feita a média e o desvio padrão (DP) das quatro repetições de cada nota, tocadas em sequência pelos sujeitos (duas arcadas para baixo, duas para cima), como exemplificado na fig. 4.17.

Violino 6 surdina 0							
NOTAS		Sujeito 1				Média	DP
		amostras					
		take1					
ARCADAS		B	C	B	C		
4ª CORDA G	G3	0,0146	0,0160	0,0127	0,0128	0,0140	0,0016
	G#3	0,0203	0,0204	0,0214	0,0202	0,0206	0,0006
	A3	0,0100	0,0206	0,0158	0,0099	0,0141	0,0051
	A#3	0,0251	0,0227	0,0235	0,0216	0,0232	0,0015
	B3	0,0198	0,0293	0,0235	0,0243	0,0242	0,0039
	C4	0,0296	0,0198	0,0209	0,0249	0,0238	0,0045
	C#4	0,0351	0,0367	0,0320	0,0374	0,0353	0,0024
	D4	0,0205	0,0232	0,0130	0,0130	0,0174	0,0053
	D#4	0,0221	0,0215	0,0220	0,0237	0,0223	0,0010
	E4	0,0139	0,0121	0,0128	0,0125	0,0128	0,0008
	F4	0,0209	0,0171	0,0197	0,0202	0,0195	0,0017
	F#	0,0096	0,0098	0,0100	0,0112	0,0102	0,0007
G4	0,0139	0,0157	0,0142	0,0134	0,0143	0,0010	

Figura 4.17 – Exemplo de planilha para obtenção da média e desvio padrão (DP) das quatro repetições da mesma nota. São mostrados os valores das leituras das notas da corda Sol do violino seis, tocadas pelo sujeito 1 na condição de estudo sem surdina. (B – arcada para baixo, C – arcada para cima, valores de RMS)

Essa média é usada para comparações entre os sujeitos em um mesmo violino em cada uma das condições de estudo.

Em seguida é feita a média entre todas as doze repetições de notas tocadas por todos os sujeitos (quatro repetições cada um), obtendo-se, assim, um valor médio de todos os registros de cada som, em cada violino, em cada uma das condições de estudo (fig. 4.18)

Essa média é usada para comparações entre as quatro condições de estudo de um mesmo violino e entre diferentes violinos.

Finalmente, é feita uma média, pelo mesmo processo, entre todos os instrumentos, ou seja, é 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 visa representar o efeito médio geral ocasionado pela utilização das surdinhas em comparação com a condição “sem surdina”, nos seis violinos analisados. Essa média é utilizada, também, para análises e comparações entre os diferentes instrumentos.

NOTAS		Violino 2 surdina 3																									
		Sujeito 1				Média		DP		Sujeito 2				Média		DP		Sujeito 3				Média		DP		Média Total	
		amostras								amostras								amostras									
		take1				take1				take1																	
ARCADAS		B	C	B	C																						
4ª CORDA G	G3	0,0052	0,0069	0,0051	0,0072	0,0061	0,0011	0,0095	0,0069	0,0095	0,0069	0,0082	0,0015	0,0059	0,0076	0,0065	0,0075	0,0069	0,0008	0,0071							
	G#3	0,0057	0,0052	0,0056	0,0051	0,0054	0,0003	0,0114	0,0055	0,0100	0,0044	0,0078	0,0034	0,0036	0,0037	0,0038	0,0040	0,0038	0,0002	0,0057							
	A3	0,0030	0,0027	0,0030	0,0031	0,0030	0,0002	0,0041	0,0046	0,0043	0,0032	0,0040	0,0006	0,0019	0,0021	0,0019	0,0016	0,0019	0,0002	0,0030							
	A#3	0,0019	0,0019	0,0017	0,0015	0,0018	0,0002	0,0021	0,0022	0,0023	0,0021	0,0022	0,0001	0,0020	0,0018	0,0017	0,0020	0,0019	0,0001	0,0019							
	B3	0,0030	0,0032	0,0027	0,0030	0,0030	0,0002	0,0021	0,0020	0,0023	0,0022	0,0021	0,0001	0,0016	0,0024	0,0016	0,0022	0,0020	0,0004	0,0024							
	C4	0,0022	0,0026	0,0024	0,0028	0,0025	0,0003	0,0029	0,0038	0,0031	0,0036	0,0033	0,0005	0,0018	0,0024	0,0021	0,0023	0,0022	0,0003	0,0027							
	C#4	0,0038	0,0046	0,0038	0,0038	0,0040	0,0004	0,0026	0,0027	0,0028	0,0025	0,0027	0,0001	0,0019	0,0029	0,0026	0,0026	0,0025	0,0004	0,0031							
	D4	0,0039	0,0046	0,0045	0,0050	0,0045	0,0004	0,0045	0,0034	0,0057	0,0032	0,0042	0,0011	0,0033	0,0031	0,0025	0,0026	0,0029	0,0004	0,0038							
	D#4	0,0045	0,0049	0,0046	0,0048	0,0047	0,0002	0,0037	0,0051	0,0040	0,0045	0,0043	0,0006	0,0025	0,0032	0,0020	0,0030	0,0027	0,0005	0,0039							
	E4	0,0038	0,0034	0,0022	0,0028	0,0031	0,0007	0,0029	0,0031	0,0032	0,0033	0,0031	0,0002	0,0045	0,0043	0,0035	0,0045	0,0042	0,0005	0,0035							
	F4	0,0041	0,0052	0,0048	0,0056	0,0049	0,0006	0,0035	0,0036	0,0036	0,0034	0,0035	0,0001	0,0109	0,0126	0,0086	0,0111	0,0108	0,0016	0,0064							
	F#	0,0022	0,0031	0,0020	0,0023	0,0024	0,0005	0,0043	0,0030	0,0031	0,0034	0,0035	0,0006	0,0014	0,0030	0,0017	0,0029	0,0023	0,0008	0,0027							
	G4	0,0016	0,0022	0,0019	0,0022	0,0020	0,0003	0,0048	0,0046	0,0055	0,0062	0,0053	0,0007	0,0050	0,0069	0,0049	0,0066	0,0059	0,0010	0,0044							

Figura 4.18 – exemplo de obtenção da média e desvio padrão (DP) das leituras RMS das doze repetições de cada nota, feitas pelos três sujeitos (quatro cada), utilizada para representar o comportamento de cada um dos vlns em cada uma das quatro condições de estudo. A planilha acima mostra a média e DP de todas as repetições das 13 primeiras notas no violino 2 com a surdina 3.

4.11.2 Agrupamento de dados e definição de médias para elaboração dos espectros harmônicos

O processo para elaboração das médias para os espectros é similar ao utilizado em relação à intensidade. A partir dos dados relativos à magnitude dos harmônicos obtidos pelo pré-processamento no Octave, foram criadas planilhas, nas quais as médias

foram calculadas (fig. 4.19). Ao contrário, porém, dos dados relativos à intensidade, que tiveram suas médias integralmente processadas, representadas graficamente e apresentadas no presente trabalho, devido à enorme quantidade de informação gerada pelos espectros harmônicos, a apresentação gráfica e análise foi feita, apenas, para uma pequena parte das notas da amostragem, selecionadas como exemplos de espectros e alterações espectrais específicas observados.

Foram feitas médias dos harmônicos das quatro repetições de cada nota, tocadas em sequência por cada um dos três sujeitos, eventualmente acompanhadas pela apresentação dos registros de cada repetição da nota, geralmente para comparação com a média, quando então a magnitude fornecida pelo pré-processamento foi utilizada diretamente para o lançamento desses valores no espectro harmônico; esses espectros foram utilizados para comparações e análises entre os dados gerados por um mesmo sujeito e, também, comparando os resultados entre os sujeitos, para cada nota selecionada, em um mesmo violino, disponível para cada uma das quatro condições de estudo.

		vin3suj1surd3														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		HARM 1	HARM 2	HARM 3	HARM 4	HARM 5	HARM 6	HARM 7	HARM 8	HARM 9	HARM 10	HARM 11	HARM 12	HARM 13	HARM 14	HARM 15
G3	1	1,74005E-05	1,53E-05	2,17E-05	3,77E-05	5,88E-06	1,63E-05	1,45E-05	1,06E-05	7,05E-06	1,1E-05	2,56E-06	5,55E-06	6,38E-06	2,57E-06	1,73E-06
		1,2968E-05	1,34E-05	1,5E-05	2,88E-05	5,45E-06	1,72E-05	1,58E-05	1,33E-05	1,08E-05	1,66E-05	3,92E-06	6,61E-06	1,05E-05	6,06E-06	1,65E-06
		1,42817E-05	1,97E-05	3,49E-05	3,73E-05	6,23E-06	1,59E-05	1,77E-05	1,13E-05	4,87E-06	1,01E-05	4,23E-06	6,69E-06	6,71E-06	2,21E-06	2,35E-06
		1,01748E-05	1,51E-05	1,4E-05	2,79E-05	6,44E-06	1,44E-05	1,46E-05	1,1E-05	1,08E-05	1,46E-05	3,65E-06	8,92E-06	7,68E-06	4,3E-06	1,03E-06
	média	1,37062E-05	1,59E-05	2,14E-05	3,29E-05	6E-06	1,59E-05	1,57E-05	1,16E-05	8,39E-06	1,31E-05	3,59E-06	6,94E-06	7,81E-06	3,78E-06	1,69E-06
G#3	5	1,3506E-05	1,82E-05	2,08E-05	4,57E-05	9,72E-06	3,98E-05	8,71E-06	1,99E-05	3,91E-06	2,3E-06	5,33E-06	2,75E-06	3,69E-06	1,35E-06	2,63E-06
		1,10259E-05	2,3E-05	1,74E-05	4,29E-05	5,48E-06	2,36E-05	6,26E-06	1,32E-05	2,1E-06	1,83E-06	3,03E-06	1,05E-06	2,1E-06	1,2E-06	1,53E-06
		1,11603E-05	2,05E-05	3,23E-05	5,09E-05	2,03E-05	5,3E-05	8,34E-06	2,01E-05	2,52E-06	1,67E-06	6,1E-06	2,68E-06	4,61E-06	1,81E-06	5,05E-06
		1,08328E-05	2,86E-05	3,33E-05	5,56E-05	9,68E-06	3,07E-05	8,46E-06	1,43E-05	2,39E-06	3,42E-06	3,69E-06	1,58E-06	2,15E-06	1,26E-06	2,04E-06
	média	1,16312E-05	2,26E-05	2,6E-05	4,88E-05	1,13E-05	3,68E-05	7,94E-06	1,69E-05	2,73E-06	2,31E-06	4,54E-06	2,01E-06	3,14E-06	1,41E-06	2,81E-06
A3	9	1,64498E-05	1,82E-05	3,45E-05	1,56E-05	2,35E-05	3,82E-05	5,38E-06	1,05E-05	8,77E-06	5,5E-06	3,76E-06	2,95E-06	1,4E-06	3,79E-06	2,43E-06
		1,36604E-05	1,47E-05	2,48E-05	1,59E-05	3,03E-05	3,95E-05	4,79E-06	1,08E-05	1,1E-05	7,41E-06	1,7E-06	2,24E-06	9,86E-07	1,89E-06	2,44E-06
		1,57031E-05	1,97E-05	4,98E-05	2,73E-05	3,07E-05	5,93E-05	1,07E-05	9E-06	1,4E-05	7,68E-06	5,33E-06	6,34E-06	1,3E-06	3,9E-06	2,05E-06
		1,323E-05	1,74E-05	3,42E-05	1,71E-05	3,51E-05	4,3E-05	4,92E-06	1,22E-05	1,24E-05	8,28E-06	3,36E-06	3,18E-06	1,29E-06	1,44E-06	2,08E-06
	média	1,47608E-05	1,75E-05	3,58E-05	1,9E-05	2,99E-05	4,5E-05	6,45E-06	1,08E-05	1,15E-05	7,22E-06	3,54E-06	3,68E-06	1,24E-06	2,75E-06	2,25E-06

Figura 4.19 – Planilha de processamento das médias de cada sujeito nas diferentes condições de estudo. As quatro leituras acima de cada uma das linhas de média contêm os valores de magnitude dos harmônicos de cada uma das quatro repetições feitas para a mesma nota por cada executante. As colunas registram, portanto, a sequência dos harmônicos para as notas listadas verticalmente (1ª coluna).

Sempre, no caso da análise espectral, para notas selecionadas, foram feitos, também, agrupamentos de dados, a exemplo do tratamento dispensado à análise da

alteração de intensidade, para obtenção das médias dos doze registros feitos pelos três participantes em conjunto, utilizados para comparações entre os instrumentos.

4.12 Implementação da LTAS

4.12.1 Preparação das amostras de áudio

Para fazer a LTAS usando o PRAAT foi necessário alterar os arquivos de áudio, retirando a faixa com o metrônomo e centralizando a outra faixa, com a gravação do som do violino, nos dois canais. Além da influência que o som do metrônomo poderia ter na análise, o mesmo era supérfluo nesse caso, já que a LTAS analisa o áudio inteiro, por bandas de frequência, sem necessidade de segmentação das notas.

Para a análise de cada amostra separadamente, o arquivo foi processado pelo PRAAT após ser feita, apenas, a alteração descrita acima. Com isso se obteve a LTAS, por exemplo, da amostra vln5_suj2_surd3 (violino 5, tocado pelo sujeito 2 com a surdina 3).

Para a média dos três sujeitos tocando um mesmo instrumento, em cada uma das condições de estudo, as gravações de cada um dos sujeitos, com o mesmo instrumento, numa mesma condição, foram editadas em sequência, em uma mesma faixa com o som do violino centralizado nos dois canais, sem o metrônomo, como no caso das amostras individuais. Como a LTAS faz uma análise, por faixas de frequência, de todo o material processado, essa leitura pode ser considerada como uma representação média dos três sujeitos em uma dada condição de estudo⁶⁶. Assim as amostras vln2_suj1_surd1, vln2_suj2_surd1 e vln2_suj3_surd1 foram editadas em um único arquivo de áudio (vln2_suj123_surd1), com 23 minutos e 36 segundos de duração, que foi processada, então, pelo PRAAT.

Finalmente, para a LTAS geral de todos os instrumentos, em cada uma das condições de estudo, foram editadas todas as amostras feitas pelos três sujeitos, com os seis violinos, para cada uma das condições de estudo. Assim foram obtidos quatro arquivos de áudio, de 2 horas, 13 minutos e 44 segundos, cada um, contendo todas as

⁶⁶ Gabriellsson e Jansson utilizaram procedimento similar em seu artigo "*Long time average spectra of twenty two quality rated violins*", de 1976, para comparar resultados de LTAS de instrumentos isolados com suas respostas em grupos. (GABRIELSSON; JANSSON, 1976)

amostras de cada uma das condições de estudo. Por exemplo, *vlns_suj123_surd3*, onde foram reunidas as dezoito amostras feitas pelos três sujeitos com os seis violinos, usando a surdina três.

4.12.2 Configuração do PRAAT para a LTAS

Para implementação da LTAS, foi utilizada a função “*analyse spectrum to LTAS pitch correct*” do PRAAT 6.0.49 com os seguintes parâmetros:

<i>Minimum pitch (Hz):</i>	190
<i>Maximum pitch (Hz):</i>	2.000
<i>Maximum frequency (Hz):</i>	20.000
<i>Bandwidth (Hz):</i>	200
<i>Shortest period (s):</i>	0,0001
<i>Longest period (s):</i>	0,02
<i>Maximum period factor:</i>	1,3

A escolha da altura mínima levou em conta o Sol3 (196 Hz), nota mais grave do violino, e para a altura máxima o Si6 (1.976 Hz), nota mais alta registrada nas amostras. Para a frequência máxima considerou-se o limiar da audição humana, de 20.000 Hz. A definição da largura de banda para a análise, de 200 Hz, considerou a largura das bandas críticas (SPANIAS et al., 2007 apud COSTA, 2009), para estabelecer um valor médio das mesmas, na faixa das frequências fundamentais analisadas na pesquisa (196 a 1.976 Hz)⁶⁷.

4.13 Escala decibel adotada para apresentação dos resultados

Todas as médias e demais cálculos, relativos à intensidade e aos espectros harmônicos, foram efetuados com as medidas em RMS e com os valores da magnitude espectral. Somente no momento de fazer a apresentação final dos resultados em termos

⁶⁷ No artigo “*Long-time-average-spectra applied to analysis of music*”, Jansson e Sundberg descrevem em sua pesquisa com violinos uma largura de banda de 250 Hz para a LTAS.

de intensidade os valores foram convertidos para a escala decibel. Para tal, 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 $dB FS_x = 20 \log_{10} \left(\frac{x}{1} \right)$, tanto para os gráficos de intensidade, quanto para os de espectros harmônicos.

Os gráficos que apresentam as leituras de LTAS, porém, utilizaram o padrão próprio do PRAAT para essa função (*analyse spectrum to LTAS pitch correct*) que representa o logaritmo da densidade espectral em função da frequência, expressa em dB/Hz relativo a 2×10^{-5} Pa.

5 APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS

5.1 Análise da intensidade

5.1.1 *Curva de intensidade por corda*

Os gráficos desse tipo permitem diferentes exposições e comparações, representando as notas na sequência em que foram registradas nas amostras de áudio, ou seja, das cordas graves para as agudas, numa sequência cromática de uma oitava nas cordas mais graves, e uma décima segunda na primeira corda (Mi). Com separação entre as notas de cada corda, apresenta as notas de mesma altura tocadas em cordas diferentes, permitindo observações sobre o comportamento das surdinas, separadamente, para cada corda.

Nos gráficos 5.1a, 5.1b, 5.2a e 5.2b são apresentados, como exemplo, os resultados das médias das quatro repetições de notas dos três sujeitos tocando o vln1 sem surdina e com a surdina 1, possibilitando a observação da variação de intensidade a partir da execução de cada sujeito. Chama a atenção a grande simetria dos registros de intensidade na condição surd0 (sem surdina) entre as curvas de cada sujeito, sobretudo na corda Ré e nas primeiras notas da corda Lá. Já na condição surd1, há uma coincidência marcante nas intensidades obtidas nos registros dos três sujeitos na nota Dó5, tanto na 3ª corda (Ré), quanto na 2ª (Lá). Embora haja certa variação entre os diferentes instrumentos e as diferentes condições de estudo, pode-se tomar esses gráficos como exemplos dos níveis de variação médios registrados entre os diferentes sujeitos ao longo das gravações (vide Apêndice B). Esse resultado pode ser relacionado ao controle implementado durante os registros dos áudios pelos protocolos de execução instrumental e de gravação.

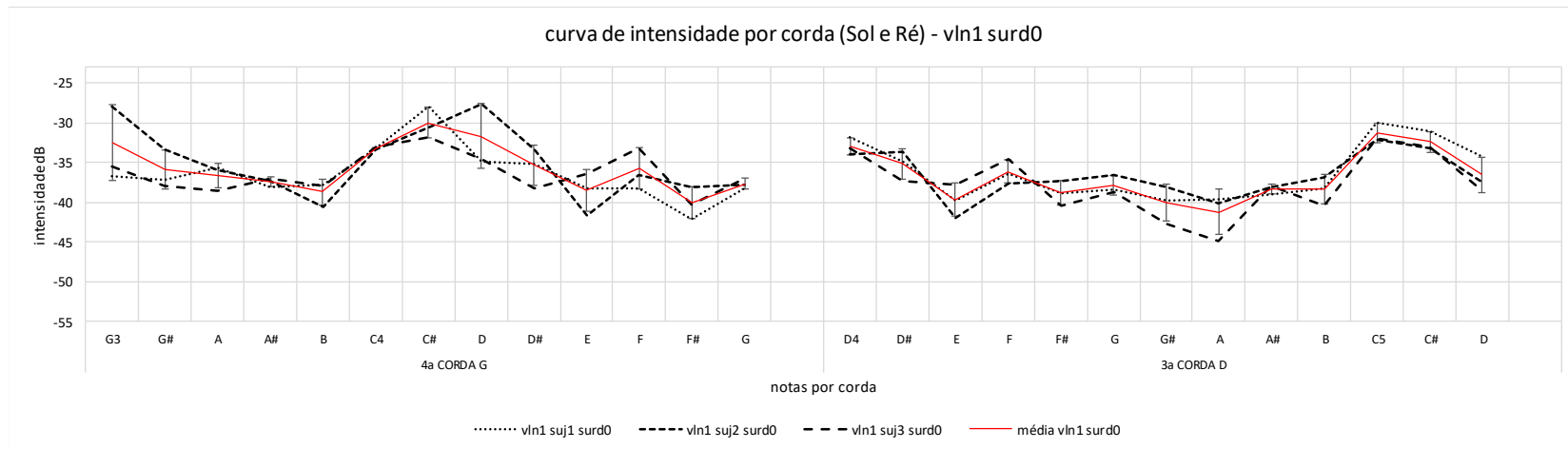


Gráfico 5.1a – Esse gráfico apresenta as médias das quatro repetições de cada nota, tocadas por cada um dos sujeitos com o violino 1 sem surdina (surd0) e a média dos três nas cordas Sol (4ª) e Ré (3ª); as barras de erro representam o desvio padrão das médias entre os sujeitos.

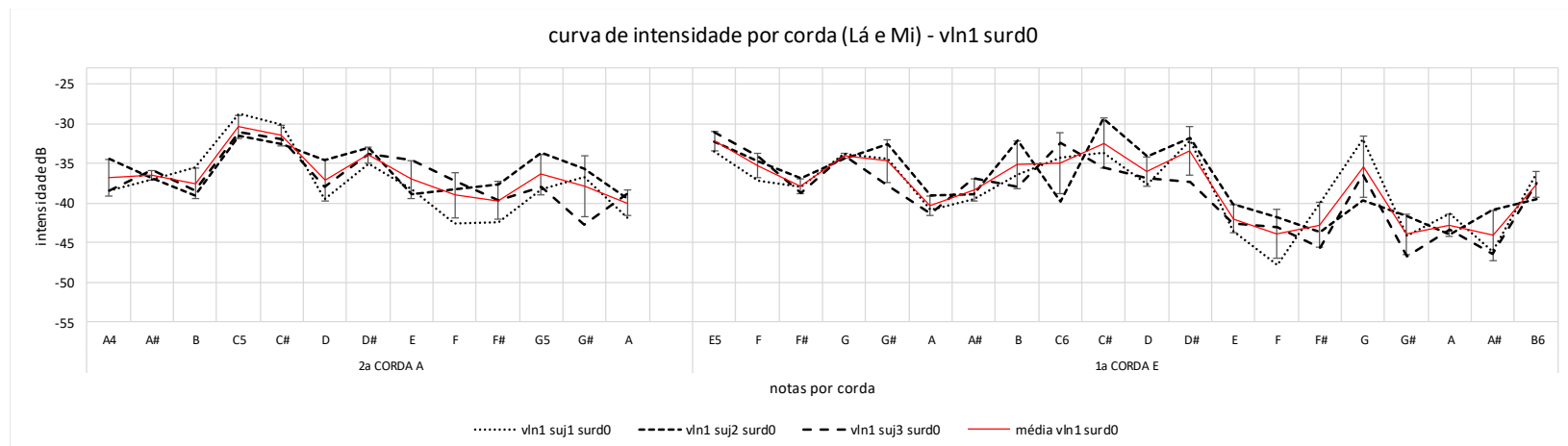


Gráfico 5.1b – Esse gráfico apresenta as médias das quatro repetições de cada nota, tocadas por cada um dos sujeitos com o violino 1 sem surdina (surd0) e a média dos três nas cordas Lá (2ª) e Mi (1ª); as barras de erro representam o desvio padrão das médias entre os sujeitos.

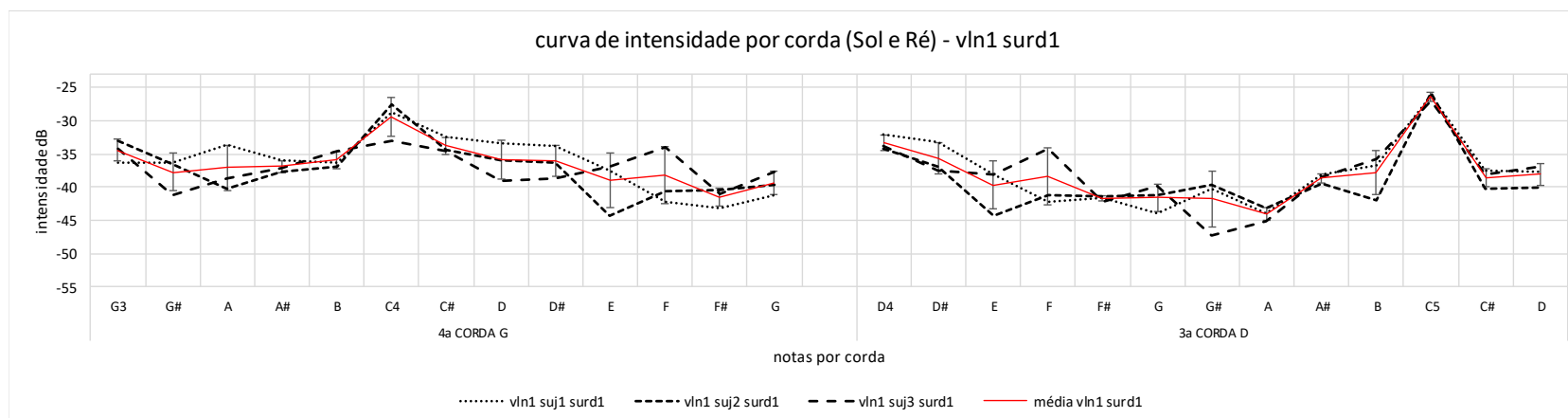


Gráfico 5.2a – Esse gráfico apresenta as médias das quatro repetições de cada nota, tocadas por cada um dos sujeitos com o violino 1 com a surdina 1 (surd1) e a média dos três nas cordas Sol (4^a) e Ré (3^a); as barras de erro representam o desvio padrão das médias entre os sujeitos.

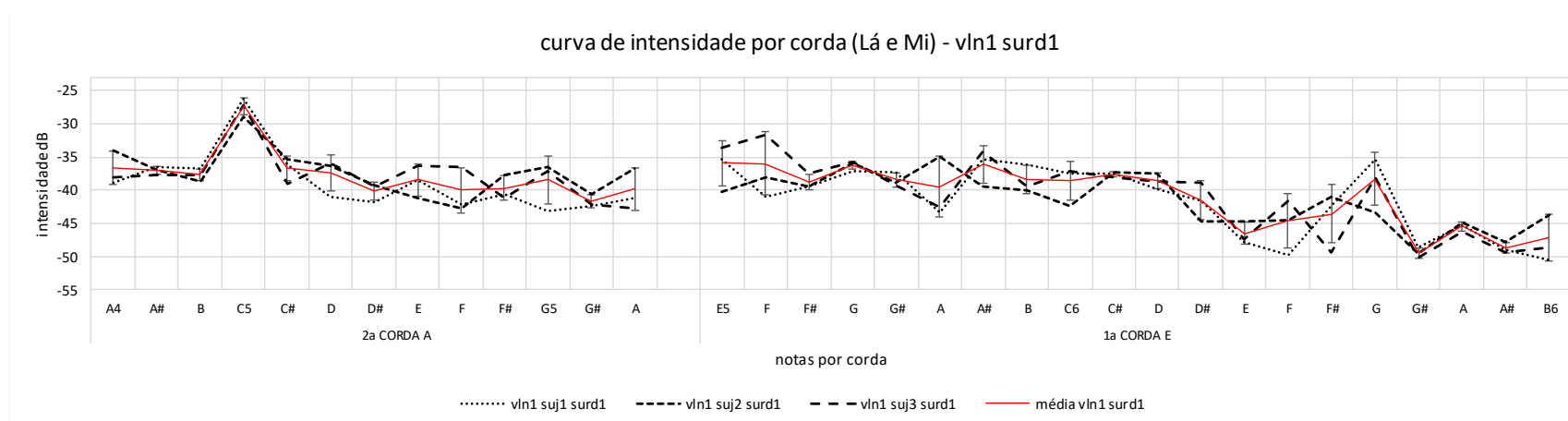


Gráfico 5.2b – Esse gráfico apresenta as médias das quatro repetições de cada nota, tocadas por cada um dos sujeitos com o violino 1 com a surdina 1 (surd1) e a média dos três nas cordas Lá (2^a) e Mi (1^a); as barras de erro representam o desvio padrão das médias entre os sujeitos.

Os gráficos 5.3a e 5.3b apresentam o exemplo das médias dos três sujeitos tocando o vln2, comparando as diferentes surdinas com a condição sem surdina. Há uma grande coincidência entre as curvas das condições surd0 e surd1, sobretudo, nas três cordas mais graves (Sol, Ré e Lá). Apenas na 1ª corda (Mi) as duas curvas citadas diminuem a similaridade em relação às demais cordas, tanto quanto ao contorno, como também quanto à intensidade média de atenuação. Esse resultado foi observado, com alguma variação, entre todos os instrumentos analisados, como pode ser observado nos gráficos 5.4a, 5.4b, 5.9a e 5.9b, que mostram as médias de todos os instrumentos nas duas condições (surd0 e surd1). Nas cordas Lá e Mi, a média dos instrumentos mantém o contorno das duas curvas mais similar do que no exemplo do vln2, embora com certa perda da intensidade. Pode-se observar, na média de todos os instrumentos, que na corda Sol, a similaridade das duas curvas de intensidade é surpreendentemente grande, o mesmo acontecendo em menor grau na corda Ré, indicando uma variação de intensidade mínima com o uso da surdina um nessas duas cordas (com exceção das notas Sol4 e Dó#5 na corda Ré, que apresentaram uma atenuação mais significativa). Chama a atenção nesse gráfico, ainda, as notas Sol#3 e Sol4, na corda Sol, e do Sol#4 e Si4, na corda Ré, onde se observa, surpreendentemente, um aumento discreto da intensidade da média das amostras com o uso da surdina um. Esse efeito foi observado isoladamente em todos os violinos, em maior ou menor medida (nos violinos 1, 2, 5 e 6 foi registrado aumento de intensidade de notas isoladas nas quatro cordas com o uso da surdina um, e nos violinos 3 e 4 em todas as cordas, menos na segunda, vide Apêndice B).

A surdina 2, a que se comportou de maneira mais variada ao longo da extensão dos instrumentos, apresentou um padrão de efeito muito distinto de acordo com a altura das notas (gráfico 5.5). Na corda Sol, alterou a intensidade de maneira bem variada. Ao mesmo tempo que produziu uma atenuação significativamente superior à provocada pela surdina um nas primeiras notas da corda, provocou, por outro lado, um aumento da intensidade, em algumas notas, superior ao eventualmente provocado pela surdina um, como podemos observar em detalhe no gráfico 5.6, notadamente no Dó#4 e no Fá4, nas quais, em cinco dos seis instrumentos amostrados, ela aumentou significativamente a intensidade, em relação à média dos instrumentos na condição sem surdina, além do Ré#4, nota na qual houve o maior aumento de intensidade (embora em apenas quatro dos instrumentos). Na corda Ré (gráfico 5.7) esse mesmo efeito é mantido, de aumento da

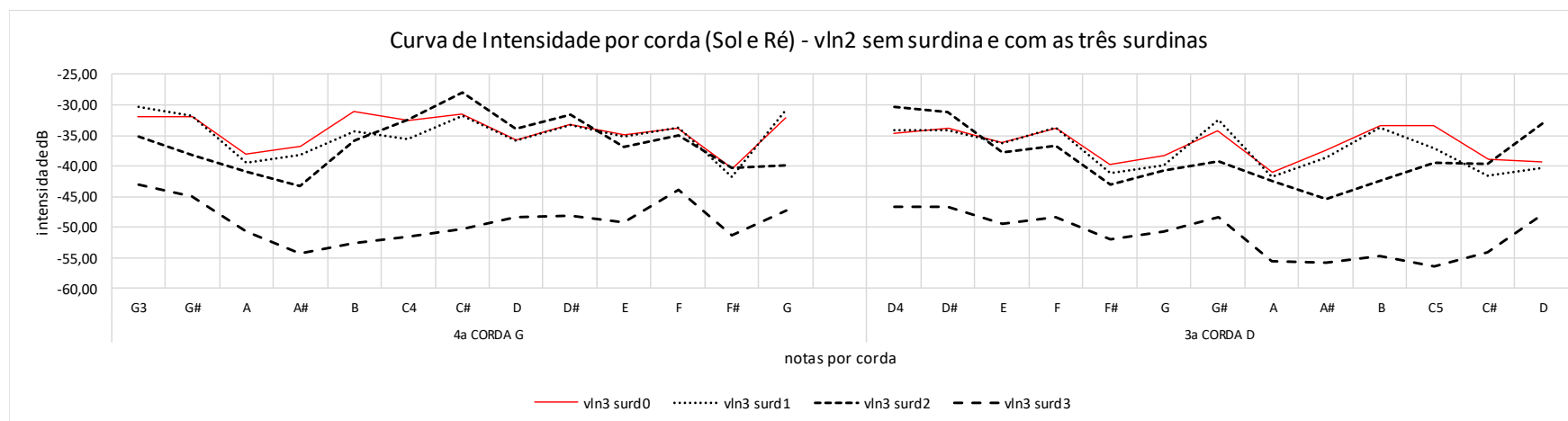


Gráfico 5.3a – Apresenta as médias de todas as repetições de cada nota, tocadas por todos os sujeitos (12 repetições, portanto, quatro de cada um) com o violino 2 sem surdina (surd0) e com as três surdinas (surd1, surd2 e surd3), nas cordas Sol (4ª) e Ré (3ª).

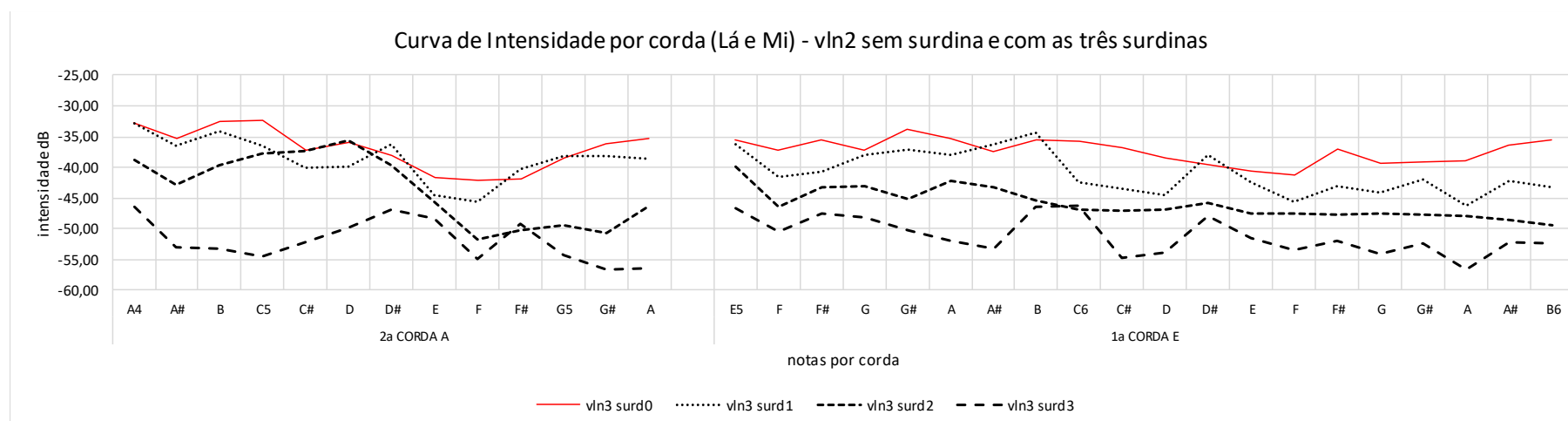


Gráfico 5.3b – Apresenta as médias de todas as repetições de cada nota, tocadas por todos os sujeitos (12 repetições, portanto, quatro de cada um) com o violino 2 sem surdina (surd0) e com as três surdinas (surd1, surd2 e surd3), nas cordas Lá (2ª) e Mi (1ª).

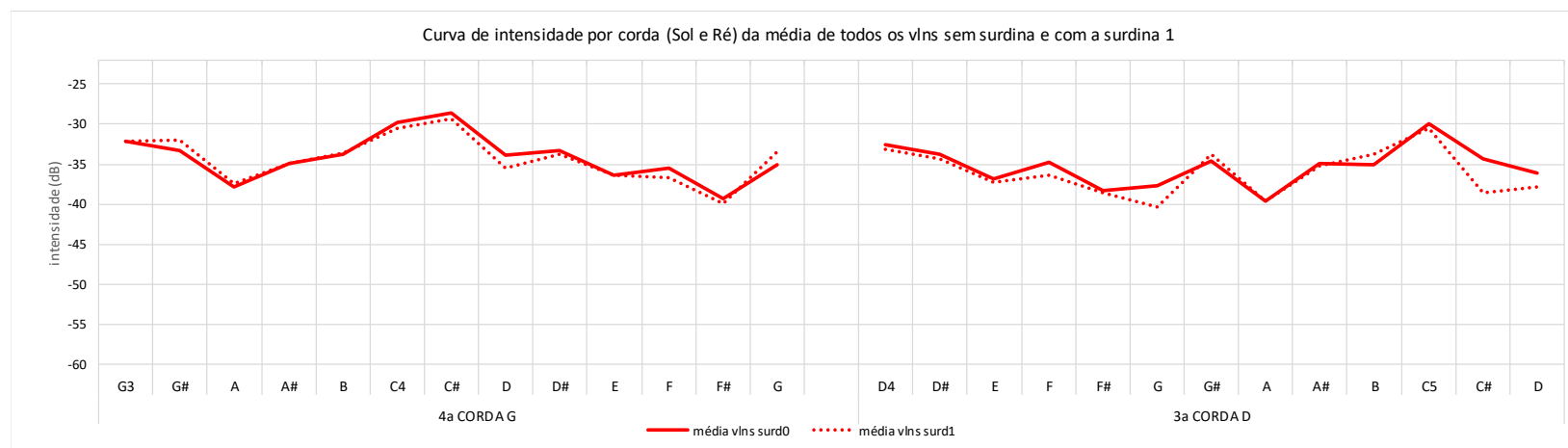


Gráfico 5.4a – Apresenta as médias de todos os 6 vlms amostrados (72 repetições de cada nota, portanto, tocadas pelos três sujeitos), nas condições surd0 e surd1, nas cordas Sol (4ª) e Ré (3ª).

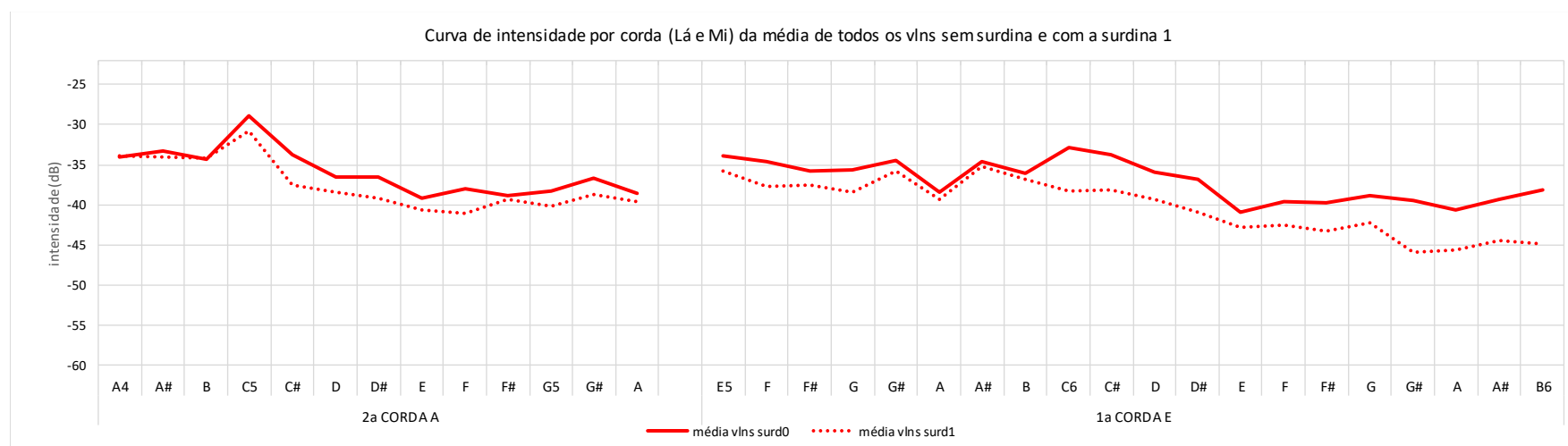


Gráfico 5.4b – Apresenta as médias de todos os 6 vlms amostrados (72 repetições de cada nota, portanto, tocadas pelos três sujeitos), nas condições surd0 e surd1, nas cordas Lá (2ª) e Mi (1ª).

intensidade em relação à média de todos os instrumentos sem surdina, das notas Ré4 ao Fá4. Em ambas as cordas, os violinos três e quatro foram os instrumentos mais afetados pelo efeito de aumento de intensidade provocado pelo uso da surdina dois.

Nessas duas cordas, ainda, observa-se uma acentuada diminuição da intensidade dos instrumentos em geral e da média dos mesmos, sob efeito do dispositivo, no Fá#4 (onde já havia uma queda de intensidade na média dos instrumentos sem surdina), sobretudo no vln6, que apresenta um comportamento bastante singular, pois, nele, com o uso da surdina dois, essa perda de intensidade é significativamente maior do que a observada em todos os outros instrumentos (gráfico apII.45 e apII.46).

A partir da altura do A4, o comportamento médio da surdina dois, em todos os instrumentos, produz uma atenuação significativamente maior, efeito observado tanto na 3ª quanto na 2ª cordas (Ré e Lá). Apenas na nota Ré#5 há uma diminuição do efeito de atenuação na corda lá, onde a diminuição na intensidade do som da surdina dois, em relação à média dos instrumentos sem surdina, se aproxima mais do produzido pela surdina 1 (gráficos 5.9a e 5.9b). O mesmo pode ser observado na corda Mi, onde à exceção do Mi5, cuja atenuação é consideravelmente menor que no restante das notas desta corda, o efeito produzido pelo dispositivo é mais próximo ao gerado pela surdina três do que aquele produzido pela surdina um.

Nos gráficos 5.8a, 5.8b, 5.9a e 5.9b podemos observar o comportamento médio da surdina 3 em todos os violinos. De ação mais regular que as demais, produziu um efeito de atenuação muito mais significativo. Essa surdina apresentou um único caso de aumento de intensidade em relação à condição sem surdina em toda a amostragem: provocou aumento de intensidade (bastante reduzido, 0,17 dB) na média entre os três sujeitos na nota Mi6 no violino cinco (gráficos apII.37 e apII.38). No geral, ela tendeu a uniformizar a diferença de intensidade ao longo da extensão dos instrumentos em comparação com as outras condições de estudo (observação comprovada pelo menor desvio padrão em relação ao das outras condições (vide Quadro 3 na seção 5.1.3). Chama a atenção o comportamento dos violinos três e quatro na corda Sol, que em várias notas tiveram uma atenuação menor do que a média (Sol#3, Lá3, Lá#3, Si3 e Dó#4, sendo que somente o violino três ainda manteve esse comportamento no Ré4 e Ré#4). Já na corda Ré, observa-se uma menor atenuação, em relação à média dos instrumentos sem surdina, no violino 5 (Mi4, Fá4, Fá#4, Lá#4, Si4 e Dó#5).

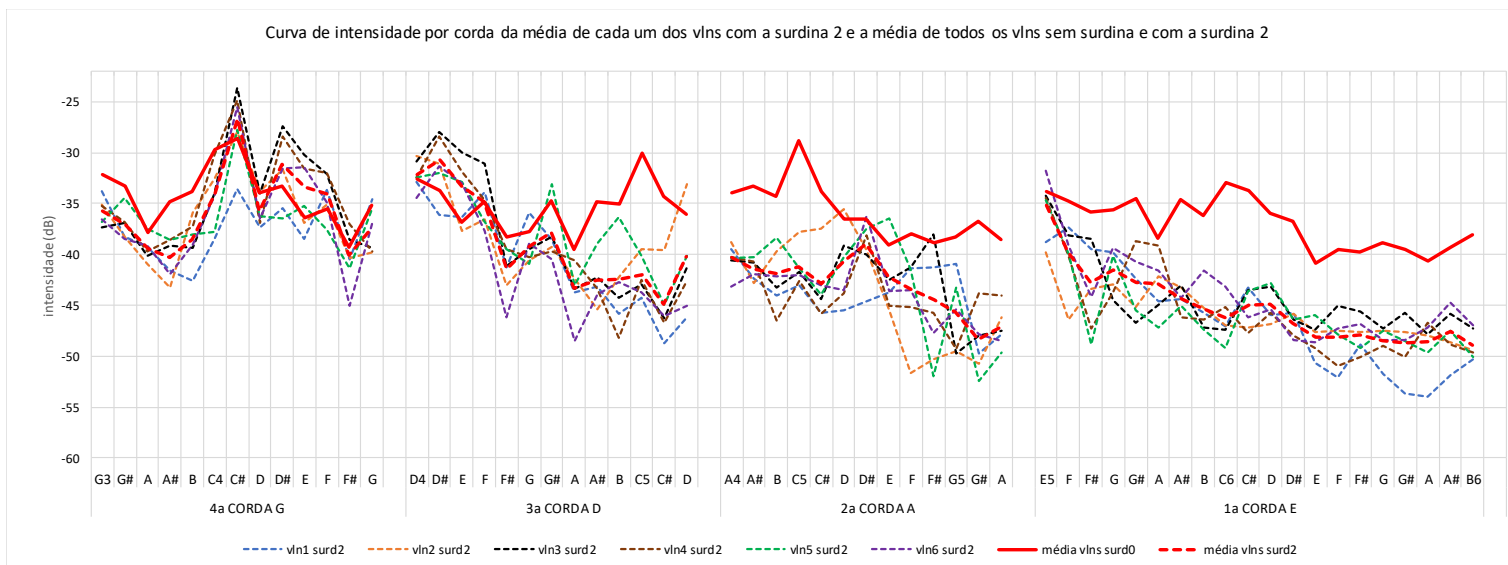


Gráfico 5.5 – Apresenta as médias de cada vln, (12 repetições de cada nota, tocadas pelos três sujeitos) com a surd2 e as médias de todos os vlns nas condições surd0 e surd2.

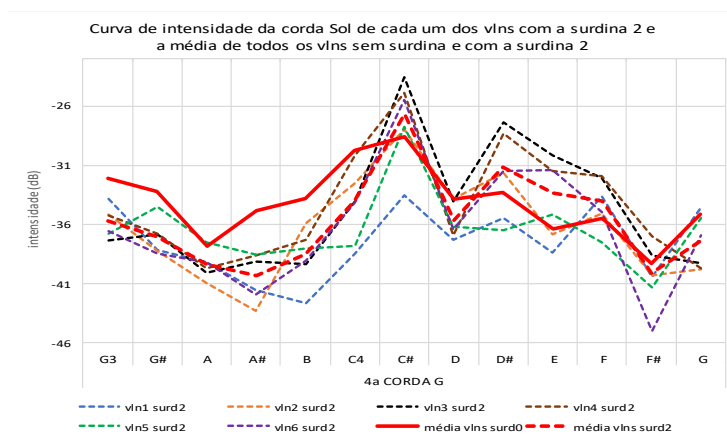


Gráfico 5.6 – Apresenta as médias de cada vln, com a surd2 e as médias de todos os vlns nas condições surd0 e surd2, na corda Sol.

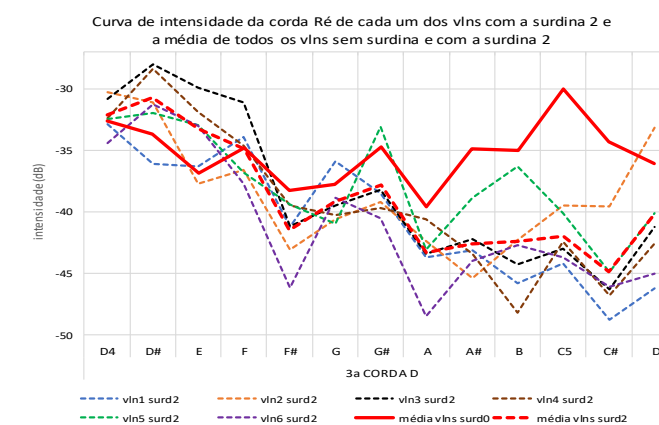


Gráfico 5.7 – Apresenta as médias de cada vln, com a surd2 e as médias de todos os vlns nas condições surd0 e surd2, na corda Ré.

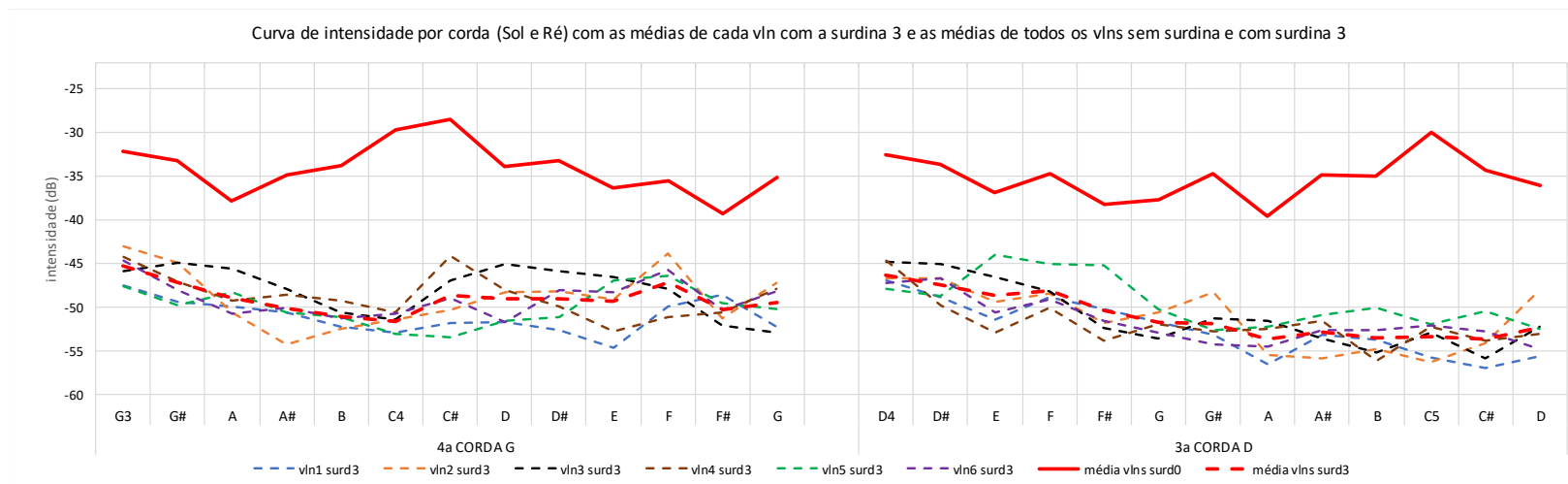


Gráfico 5.8a – Apresenta as médias de cada vln, (12 repetições de cada nota, tocadas pelos três sujeitos) com a surd3 e as médias de todos os vlms nas condições surd0 e surd3, nas cordas Sol (4ª) e Ré (3ª).

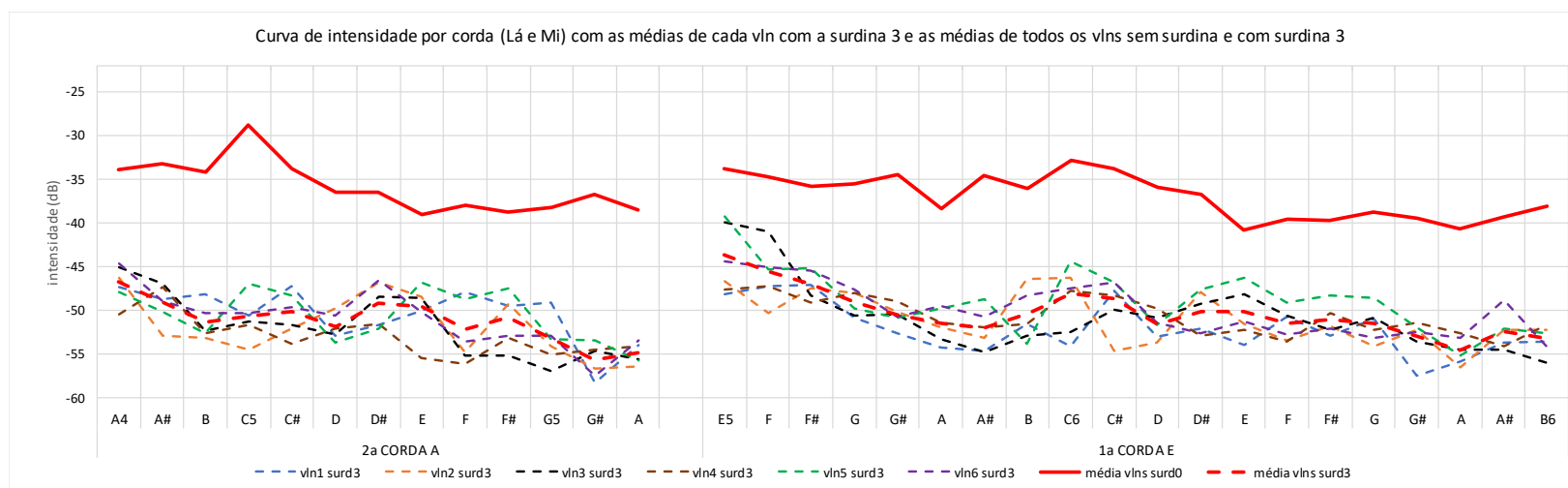


Gráfico 5.8b – Apresenta as médias de cada vln, (12 repetições de cada nota, tocadas pelos três sujeitos) com a surd3 e as médias de todos os vlms nas condições surd0 e surd3, nas cordas Lá (2ª) e Mi (1ª).

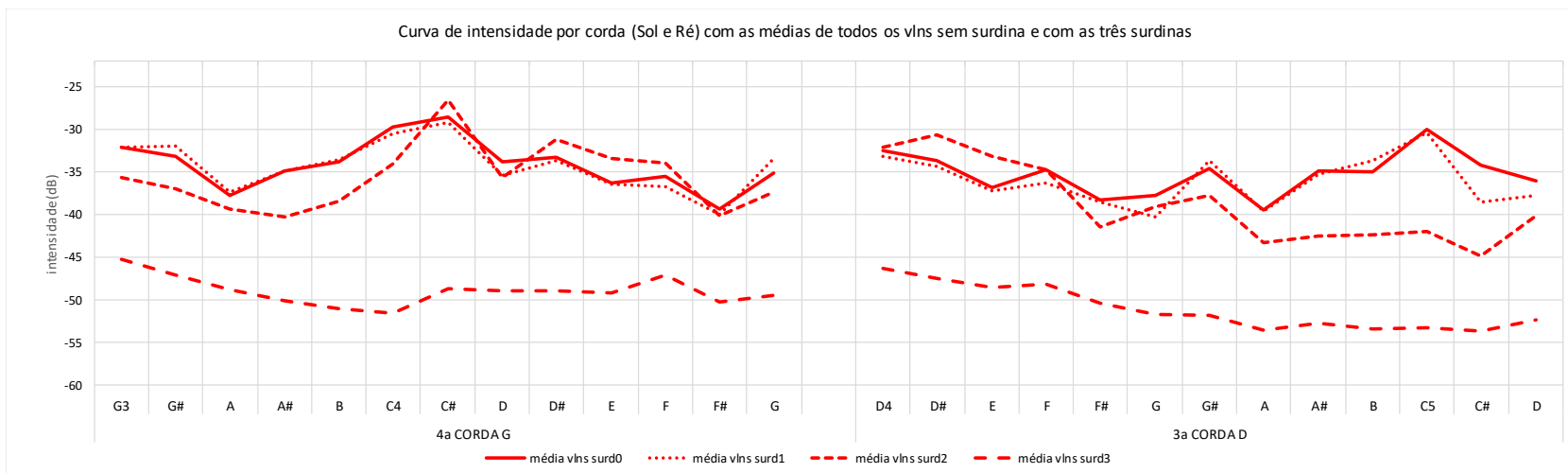


Gráfico 5.9a – Apresenta as médias de todos os vlns (72 repetições de cada nota, tocadas pelos três sujeitos nos seis violinos) sem surdina e com as três surdinas, nas cordas Sol (4ª) e Ré (3ª).

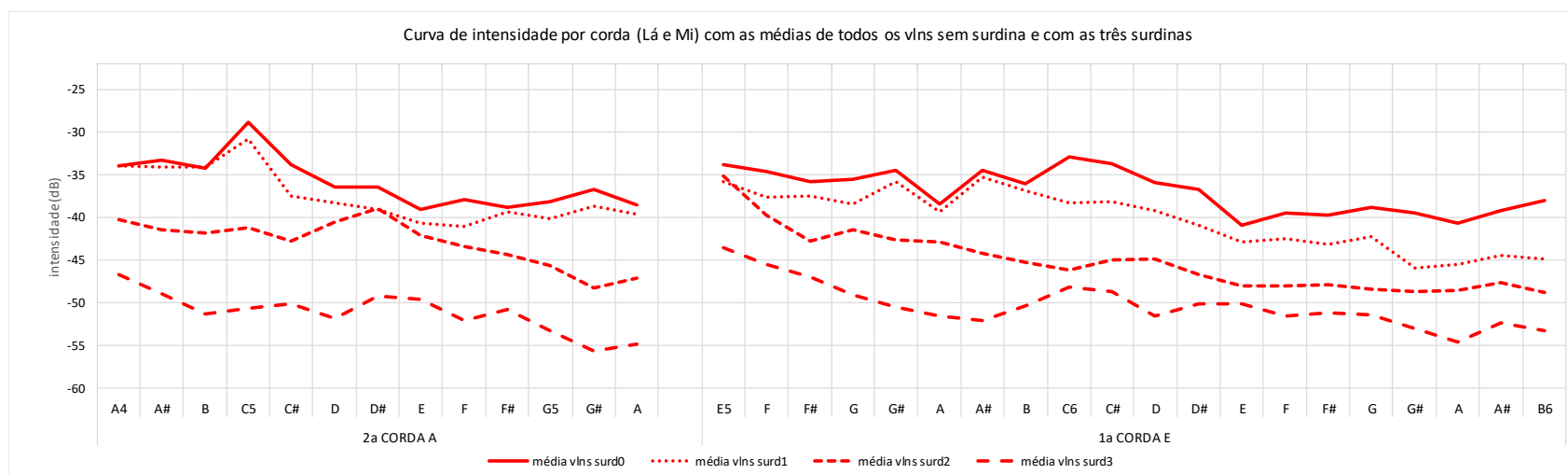


Gráfico 5.9b – Apresenta as médias de todos os vlns (72 repetições de cada nota, tocadas pelos três sujeitos nos seis violinos) sem surdina e com as três surdinas, nas cordas Lá (2ª) e Mi (1ª).

5.1.2 Curva de intensidade total

Esse tipo de gráfico é baseado em representação desenvolvida por Saunders (SAUNDERS, 1937)⁶⁸ e utilizado, também, dentre outros, por Hutchins (HUTCHINS, 1962) em suas pesquisas (fig. 5.1). Foi obtido fazendo-se a média da intensidade das notas repetidas tocadas em cordas diferentes, de maneira que a curva de intensidade apresentada segue a sequência cromática contínua, do Sol₃, primeira altura da amostragem pesquisada, até o Si₆, resultando, portanto, numa sequência de 41 alturas distintas, representativas da extensão dos violinos, porém, desconsiderando as particularidades da sonoridade de cada corda (gráfico 5.9).

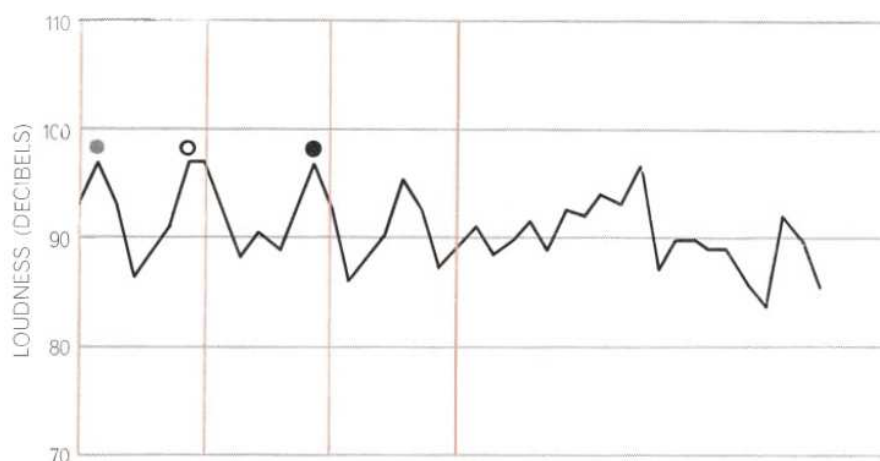


Figura 5.1 – Curva de Intensidade Total (*loudness curve*) de um Stradivarius de 1713, registrada com um decibelímetro, abrangendo a extensão contínua do instrumento em sequência cromática. As linhas verticais, da esquerda para a direita marcam as frequências das cordas soltas do violino (respectivamente Sol₃, Ré₄, Lá₄ e Mi₅). O círculo cinza representa a zona de uma ressonância característica, denominada por Hutchins “*wood prime*” (aproximadamente uma oitava abaixo da ressonância T₁), o círculo claro, a ressonância do ar (A₀) e o preto a do modo T₁ (denominado pela autora “*wood ressonance*”). (fonte: HUTCHINS, 1962, p. 87)

⁶⁸ O método descrito por Saunders, em seu artigo de 1937, “The mechanical action of violins”, e por Hutchins, em “The physics of violins”, de 1962, para a mensuração da intensidade dos instrumentos que analisaram, foi o uso de um decibelímetro. As parametrizações, tanto sobre o uso do aparelho, quanto em relação à maneira como se tocou os instrumentos (ambos os autores utilizaram executantes humanos no caso) são bastante sucintas, não especificando a duração das notas, nem quantidade de arco usada e nem mesmo ponto de contato. Saunders considera tais fatores em suas observações, embora, no citado artigo, diferentemente da presente pesquisa, não esclareça como foi obtida, exatamente, uma execução padronizada para suas amostras. Diz no texto, apenas: “One merely has to play each note on the instrument as loud as possible without allowing the tone to “break”, [...]” (“Basta tocar cada nota no instrumento o mais forte possível, sem permitir que o som “falhe” [...]). (tradução nossa)

É útil, principalmente, por representar uma visão geral do instrumento ao longo de sua extensão, facilitando as comparações entre as diferentes condições de estudo. O gráfico 5.10 mostra o processo pelo qual é obtida a curva de intensidade total, com a participação das quatro cordas na composição da média final de cada curva de intensidade total. Observe-se que as notas iniciais (Sol3 ao Dó#4) só existem na corda Sol, assim como as finais (do Lá#5 ao Si6) só foram amostradas na corda Mi, além do G#4 e D#5 que só foram tocados em uma corda, respectivamente na Ré e na Lá.

No gráfico 5.11 podemos observar o comportamento de cada instrumento em relação à média de todos na condição sem surdina. Chama a atenção que, embora haja certa variedade nas leituras de intensidade ao longo da extensão dos instrumentos, claramente, há um contorno geral entre as curvas que aponta para um comportamento médio de resposta dos instrumentos ao longo da extensão dos mesmos em termos de intensidade, dentro das condições utilizadas na amostragem. Destaca-se também o pico de intensidade, registrado em todos os instrumentos, no Dó5. Observando o gráfico 5.14 (onde são apresentadas as curvas de intensidade total das médias de todos os violinos nas quatro condições de estudo) percebe-se que a surdina um preserva essa resposta específica nesta altura, mantendo um pico de intensidade nessa nota (seguindo o contorno da curva da condição sem surdina), ao passo que as outras duas surdinas alteram totalmente o contorno de suas curvas em relação à média da condição sem surdina.

No gráfico 5.12 pode-se observar as curvas de intensidade total de cada violino com a surdina um e as médias de todos os violinos com a mesma surdina e sem surdina. É interessante notar que, embora na média de todos os instrumentos com a surdina um sejam poucas notas a apresentarem aumento de intensidade em relação à condição sem surdina, no comportamento de cada instrumento separadamente observa-se uma grande variedade de notas que sofreram esse efeito, inclusive, em regiões distintas da extensão dos instrumentos. Comportamento bastante distinto em comparação com a surdina dois, onde observa-se (gráfico 5.13) que o aumento de intensidade produzido pelo dispositivo nas curvas específicas de cada instrumento acompanha de maneira bastante simétrica o da curva da média de todos os instrumentos utilizando a surdina dois. São poucas as notas que aumentaram a intensidade, em algum dos violinos, fora da alteração média observada (Sol4, Sol#4 e Ré5 e, muito pouco, no Ré#5 e Mi5).

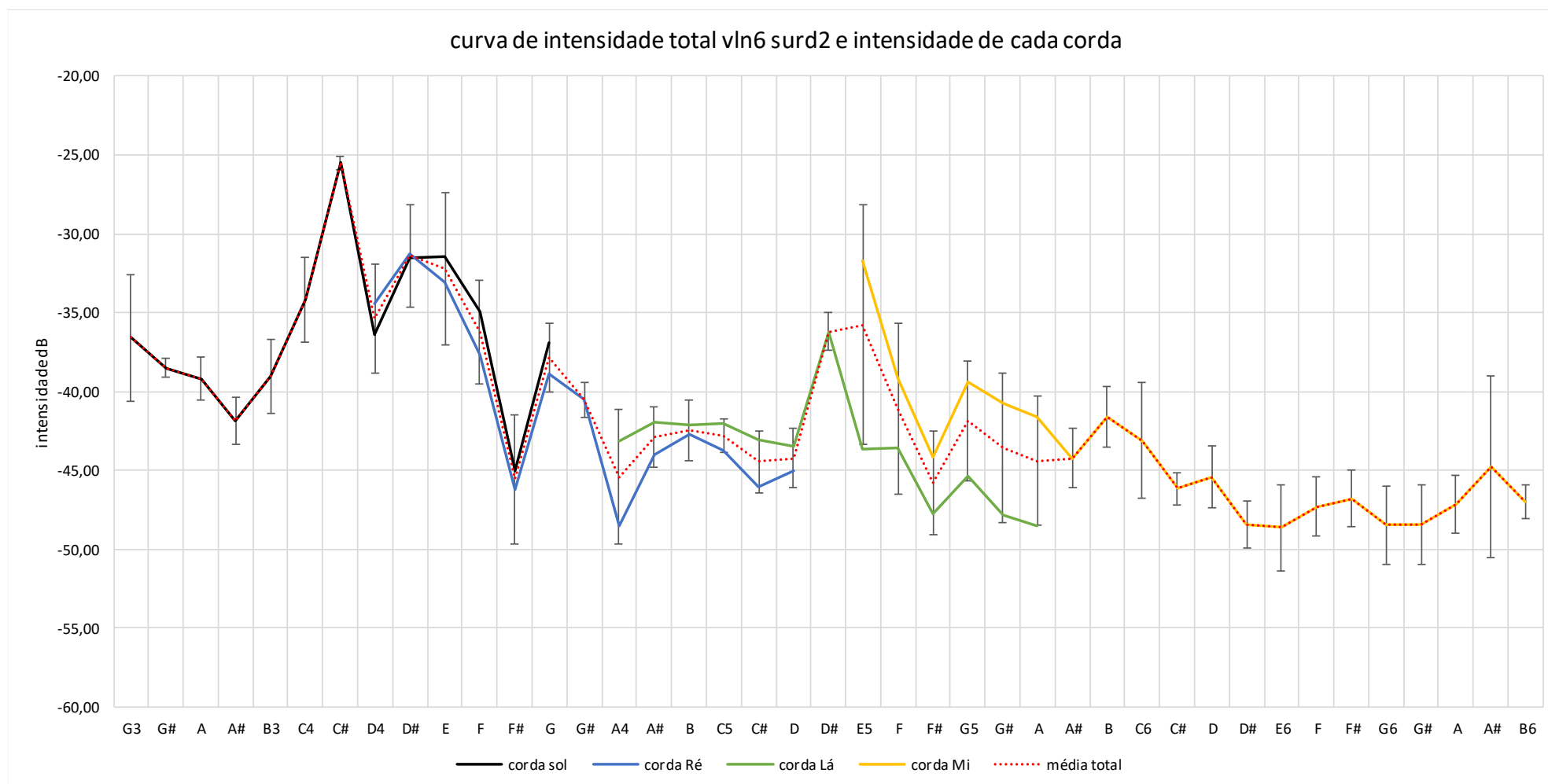


Gráfico 5.10 – A intensidade de cada corda é apresentada e a linha vermelha pontilhada representa a média das quatro cordas, resultando na curva de intensidade total do vln6 com a surdina2. As barras de erro na média representam o desvio padrão entre as várias repetições feitas pelos três sujeitos, para cada altura, em uma corda ou duas.

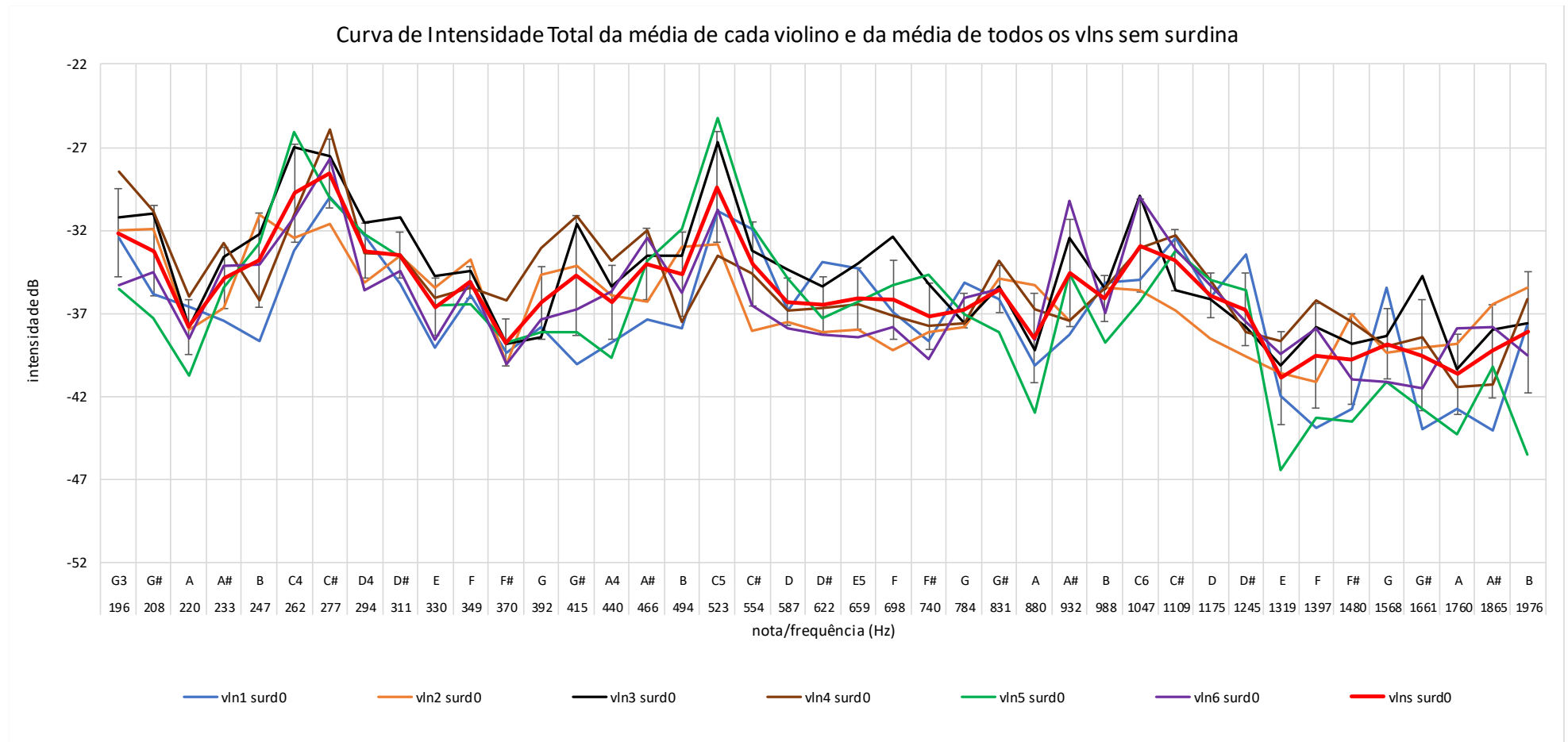


Gráfico 5.11 – Esse gráfico apresenta as médias das notas de cada vln (todas as repetições de cada nota, tocadas por todos os sujeitos em cada violino, em uma ou duas cordas) sem surdina (surd0) e as médias, da mesma natureza, de todos os instrumentos (vlns) para as 41 frequências analisadas. As barras de erro na média de todos os vlns representam o desvio padrão entre as médias dos instrumentos.

Já as curvas de intensidade total da surdina três, específicas de cada instrumento, mantendo o mesmo padrão já observado na análise corda por corda, apresentam uma menor variação em relação à média, tendo no geral, um contorno mais próximo a esta (gráfico 5.13).

Pode-se perceber determinados padrões de alteração provocado pelas três surdinas nas curvas de intensidade total médias de todos os instrumentos ao se observar os gráficos 5.14 e o 5.15 (onde a alteração no valor de intensidade, da média de todos os instrumentos, gerada por cada uma das surdinas, nota por nota, em relação à condição sem surdina, é representada por meio de uma curva de variação da intensidade):

- a surdina um produziu muito pouca atenuação na intensidade dos instrumentos até a altura do Dó5, com episódios isolados de aumento da mesma em seis notas (Sol#3, Lá3, Si3, Sol4, Sol#4 e Si4), além de manter inalterada a média de intensidade, em relação à condição sem surdina, de três outras notas (Sol3, Lá#3 e Lá4). A partir desse ponto tem um efeito de atenuação relativamente maior, voltando a diminuir na altura do Lá#5 e Si5 (onde, novamente, quase iguala a condição sem surdina), e, então, a partir desse ponto, volta a aumentar seu efeito atenuador da intensidade dos instrumentos analisados, de maneira mais acentuada, em relação à condição sem surdina. Ainda assim é a surdina que menos produz atenuação, em média, em comparação com as outras duas. Até o Si5, uma única nota atingiu uma atenuação de 3 dB. Acima dessa altura, apenas três notas diminuíram a intensidade em mais de 5 dB, Dó6, Sol#6 e Si6 (vide tabela de valores do gráfico 5.15).
- a surdina dois apresentou uma atenuação bem superior à surdina um nas primeiras alturas registradas, como já observado na análise corda por corda. Isso até o Dó#4, nota na qual produziu um aumento de intensidade em relação à condição sem surdina bastante expressivo (1,92 dB), efeito que volta a ser observado, de forma ainda mais acentuada, em duas outras notas, Ré#4 (2,52 dB) e Mi3 (3,29 dB), e, de maneira menos significativa, no F á4 (0,74 dB). A partir dessa altura a atenuação passa a ser muito

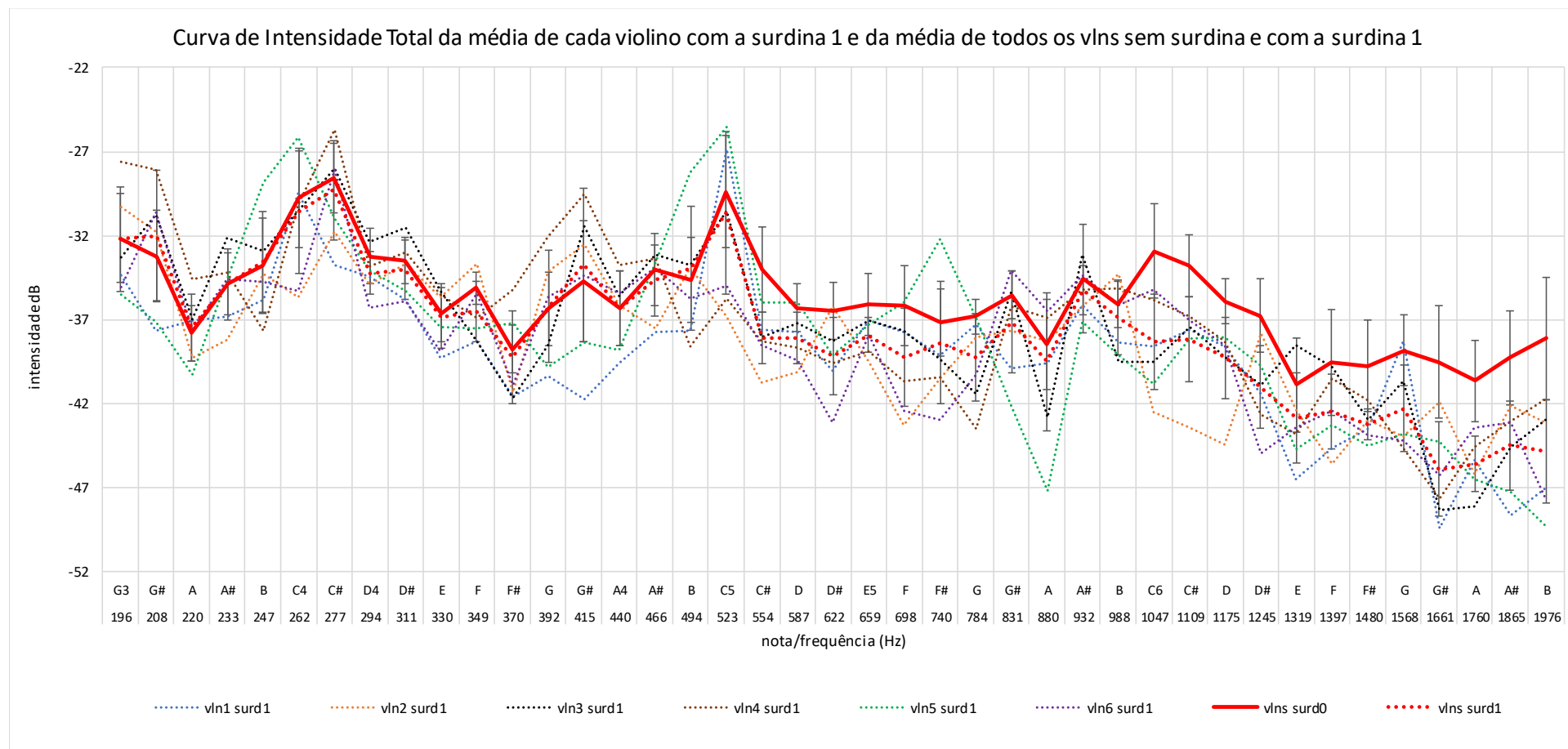


Gráfico 5.12 – Esse gráfico apresenta as médias das notas de cada vln (todas as repetições de cada nota, tocadas por todos os sujeitos em cada violino, em uma ou duas cordas) com a surdina um e as médias, da mesma natureza, de todos os instrumentos (vlns) para as 41 frequências analisadas para a mesma condição de estudo e sem surdina também. As barras de erro nas médias de todos os vlns representam o desvio padrão entre as médias dos instrumentos em cada condição de estudo.

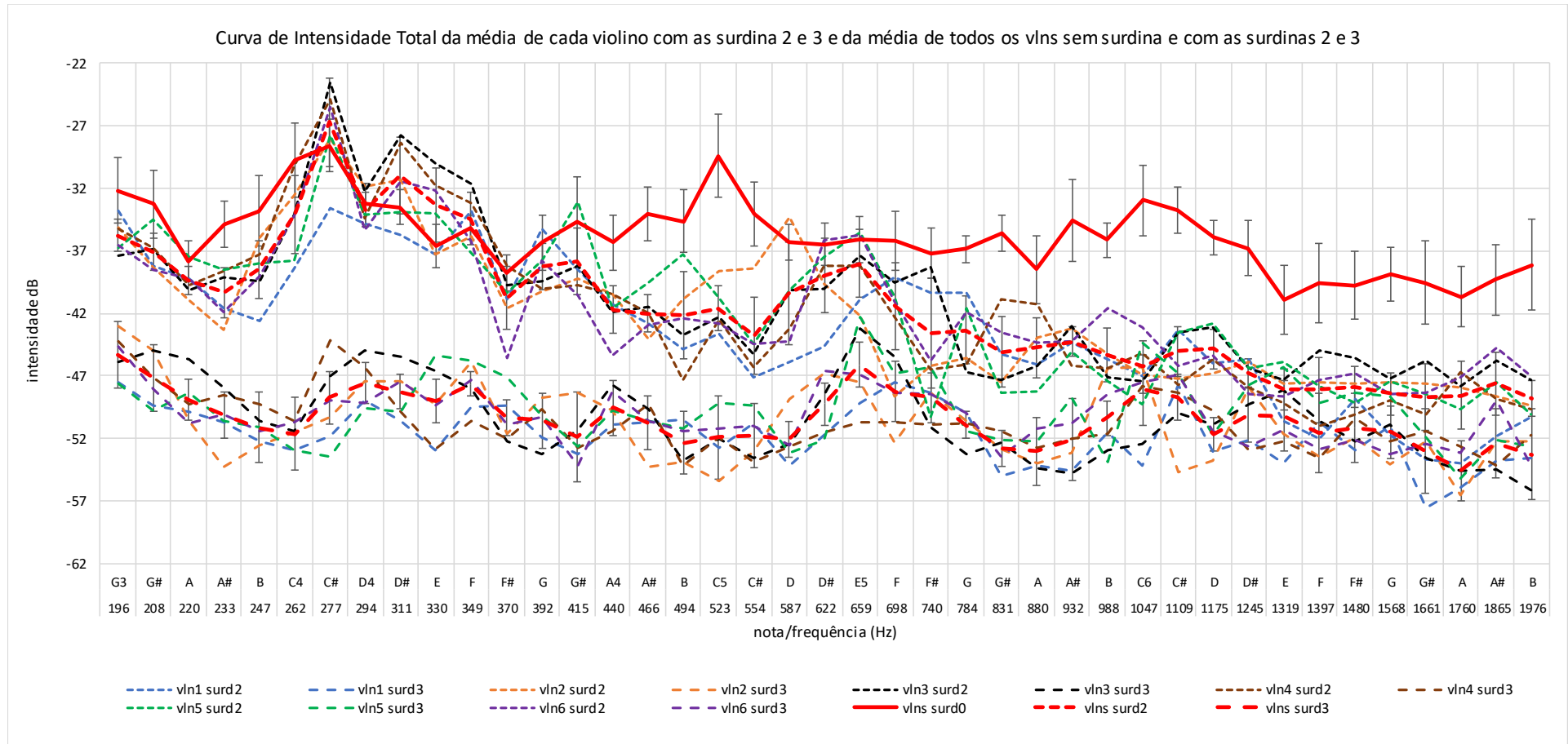


Gráfico 5.13 – Esse gráfico apresenta as médias das notas de cada vln (todas as repetições de cada nota, tocadas por todos os sujeitos em cada violino, em uma ou duas cordas) com as surdinas dois e três e as médias, da mesma natureza, de todos os instrumentos (vlns) para as 41 frequências analisadas para as mesmas condições de estudo e sem surdina também. As barras de erro nas médias de todos os vlns representam o desvio padrão entre as médias dos instrumentos em cada condição de estudo.

maior, atingindo um pico máximo de menos 12 dB em relação à condição sem surdina no Dó5, segunda maior atenuação produzida por essa surdina em toda a extensão amostrada. A partir dessa nota, porém, volta a diminuir a atenuação até o Ré#5 e Mi5, onde, praticamente, iguala o efeito produzido pela surdina um, atingindo apenas 1,8 dB de redução de intensidade no Mi5. Desse ponto em diante, o efeito de atenuação volta a crescer, chegando ao maior valor no Dó6 (13 dB a menos em relação à condição sem surdina), como pode ser verificado no gráfico 5.15. Na extensão compreendida entre o Lá4 e o Dó#5 a curva de variação da intensidade da surdina dois permanece aproximadamente a meio caminho entre as curvas da surdina um e da três. Na extensão anterior a essa nota, mantinha-se mais próxima à da surdina um. Tal efeito, de nível de atenuação entre o das outras duas surdinas, pode ser observado novamente do Fá#5 até o Si5, a partir de onde passa a oscilar entre os efeitos de atenuação das duas outras surdinas, ora mais próxima de uma ora de outra. Os dois pontos de maior atenuação ocorreram em duas oitavas de uma mesma nota, os Dó5 e Dó6, com redução, respectivamente, de 12 e 13 dB.

- a surdina três tem como sua principal característica o efeito de atenuação muito maior do que as duas outras surdinas e uma relativamente maior regularidade nessa ação, ao longo de toda a extensão dos instrumentos, no que se diferencia bastante, sobretudo, da surdina dois. Outro fato notável é a presença dos dois maiores picos de atenuação, novamente, como na surdina dois, em duas oitavas da mesma nota, o Dó, porém, diferentemente da surdina dois, o efeito atingiu igualmente os Dó4 e Dó5, onde a atenuação atingiu o valor máximo, de toda a extensão analisada, de menos 22 dB em ambas, em relação à condição sem surdina. Já o Dó6, fortemente afetado pela surdina dois, apresentou uma atenuação próxima à média de efeito da surdina três. As menores atenuações observadas, com o uso dessa surdina, ocorreram no Mi5 e Mi6, de apenas 10 e 9,3 dB, respectivamente. Interessante observar que a primeira corda do violino é

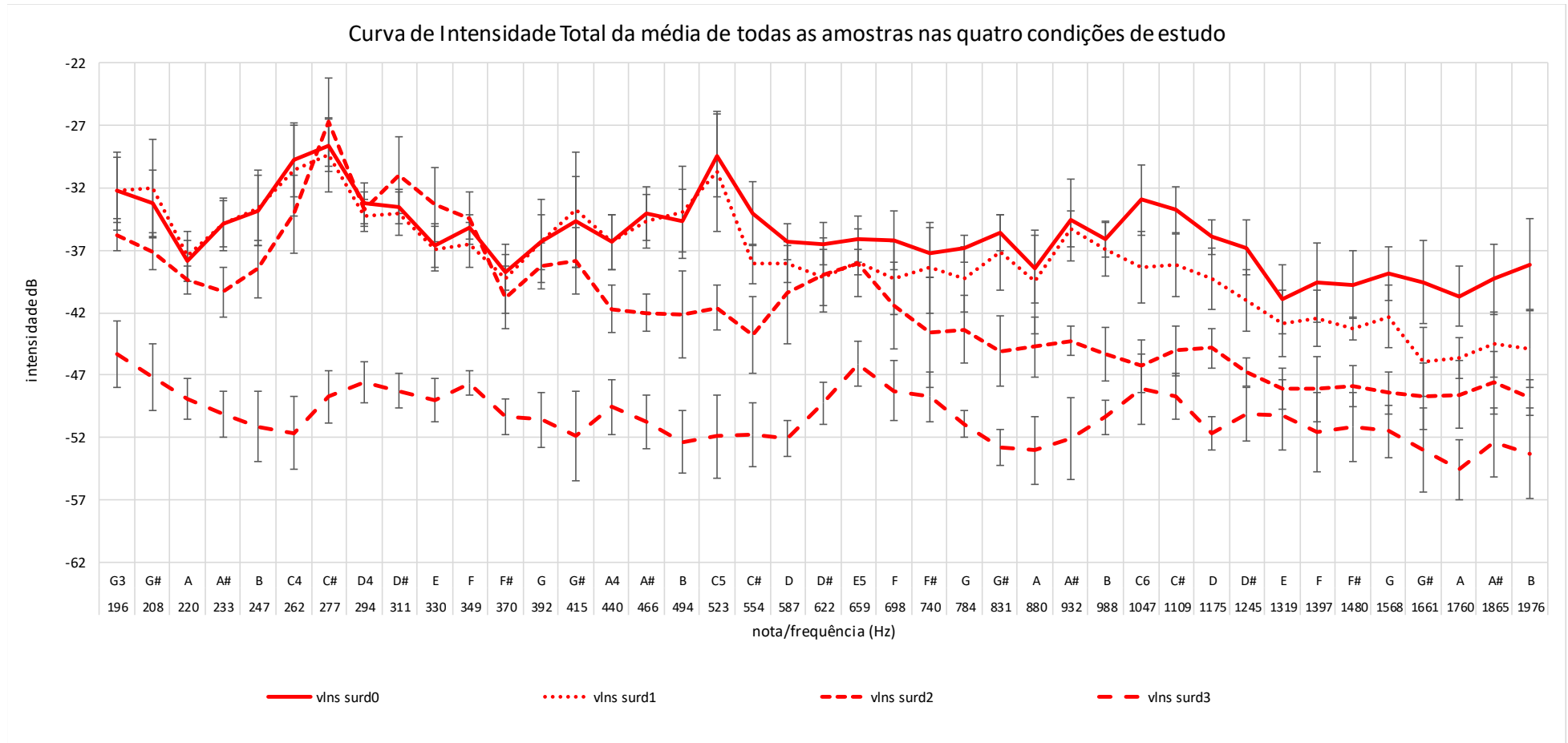


Gráfico 5.14 – Apresenta as curvas de intensidade total de todos os instrumentos nas quatro condições de estudo. As barras de erro representam o desvio padrão entre as médias das diferentes condições.

afinada com a frequência do Mi5. Essa surdina apresentou um efeito de atenuação menor nas notas amostradas apenas na corda Mi (Lá#5 ao Si6), com atenuação média de 13,71 dB (DP=2,04), do que na média de todas as alturas analisadas (vide quadro 4 na próxima seção).

5.1.3 Intensidade média dos instrumentos e atenuação média das surdinas

Os gráficos abaixo apresentam a média da intensidade de todas as notas amostradas, representando, separadamente, a intensidade média dos instrumentos por corda e total de cada instrumento, nas quatro condições de estudo, e, também, a média de intensidade de todos os violinos. É apresentado aqui, apenas, com os dados de todos os instrumentos agrupados⁶⁹. (gráficos 5.16 e 5.17).

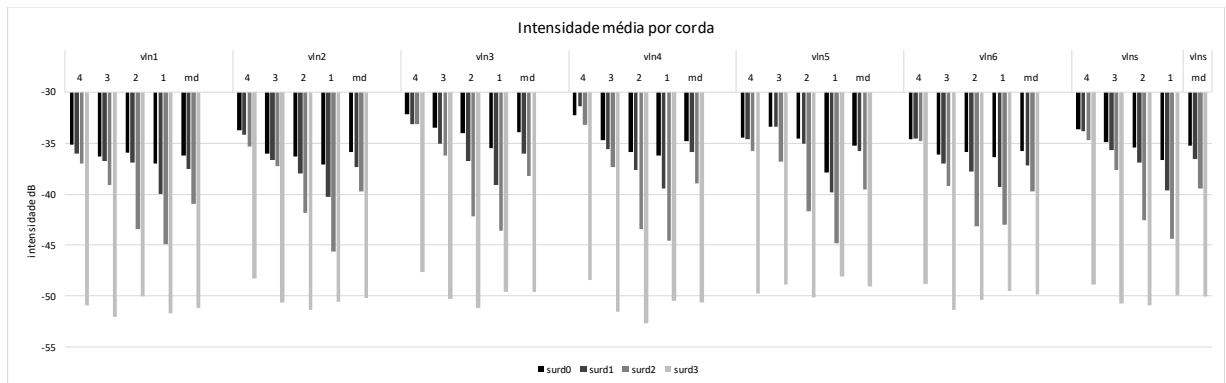


Gráfico 5.16 – Apresenta a média de intensidade dos violinos, por corda (4 – Sol, 3 – Ré, 2 – Lá, 1 – Mi), nas quatro condições de estudo e, também, a média total de todos os instrumentos da pesquisa (vlns).

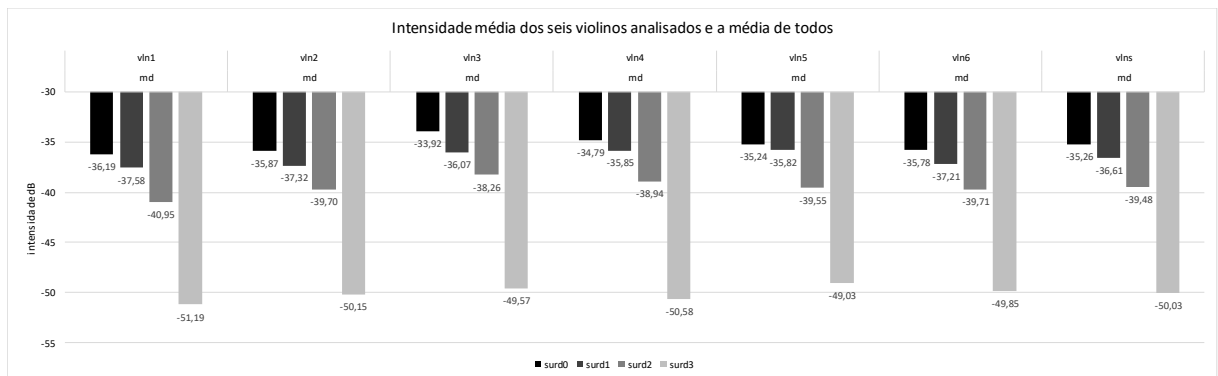


Gráfico 5.17 – Apresenta a médias totais de intensidade dos violinos indicados pelos números (vln1, vln2, etc.), nas quatro condições de estudo e, também, a média total de todos os instrumentos (vlns).

⁶⁹ Os gráficos de intensidade de cada instrumento separadamente estão disponíveis no Apêndice B.

Abaixo, no quadro três, são apresentadas as intensidades médias de toda a amostragem em cada uma das condições de estudo, com os respectivos desvios padrão, e no quadro quatro, os valores da atenuação média e desvio padrão (DP) de cada surdina em relação à condição sem surdida. As médias de atenuação foram feitas considerando-se os valores do gráfico 5.15 (alteração na curva de intensidade total dos violinos analisados com o uso das três surdinas). Percebe-se que cada um dos dispositivos produziu seu efeito em uma faixa de atenuação bastante distinta da dos demais, embora a média da atenuação das surdinas um e dois esteja mais próxima entre si, do que a da surdina três.

Quadro 3 – intensidade média

condição de estudo	média (dB)	DP
surd0	-35,26	2,86
surd1	-36,61	3,88
surd2	-39,48	5,26
surd3	-50,03	2,50

Quadro 4 – média de atenuação

condição	média de atenuação	DP
surd1	-1,89	2,05
surd2	-5,84	4,10
surd3	-14,58	2,89

Observando-se a distribuição da intensidade nas quatro cordas (gráfico 5.16) percebe-se que, em geral, as cordas apresentaram intensidade decrescente das graves para as agudas. Na condição sem surdina, somente no violino cinco a intensidade média da corda Sol foi menor do que a da Ré e bem próxima da intensidade da corda Lá, tendo sido, nos outros instrumentos, a corda com maior intensidade média. Em todos os instrumentos a intensidade média da corda Mi foi a menor dentre as quatro.

Apenas na corda Sol, nos violinos quatro e seis, a média da intensidade desta corda com a surdina um foi superior à da condição sem surdina. Em todas as outras cordas, a média da intensidade com qualquer das três surdinas foi sempre inferior à condição sem surdina, ainda que, por vezes, com uma pequena diferença, como pode ser observado no resultado da média geral dos instrumentos nas quatro condições de estudo (gráfico 5.17).

A variedade de efeitos de atenuação da surdina dois, em relação à condição sem surdina, fica bastante evidente ao analisarmos o comportamento do efeito médio da mesma apenas nas cordas extremas dos instrumentos, Sol e Mi (gráfico 5.18). Na corda Sol, na maioria dos instrumentos, a intensidade média sob efeito da surdina dois mantém-

se relativamente muito próxima à da condição sem surdina, sobretudo no violino 6, o que se reflete claramente na média de todos os instrumentos, que apresenta, igualmente, uma atenuação pequena. Já na corda Mi, a intensidade média da mesma, com o uso da surdina dois, é muito inferior à registrada na condição sem surdina, em todos os instrumentos. Embora as surdinas um e dois tenham apresentado essa mesma tendência, de aumentar o efeito de atenuação da intensidade nas cordas mais agudas, com o uso da surdina dois, tal tendência é mais marcante. De maneira distinta, o uso da surdina três ocasionou, na média geral, uma atenuação nas cordas Lá e Ré maior do que na corda Mi.

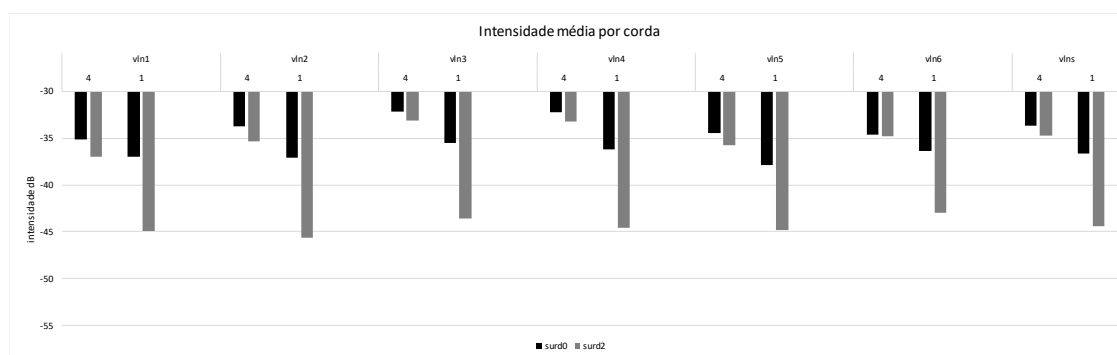


Gráfico 5.18 – Apresenta a média de intensidade dos violinos nas cordas Sol (4ª) e Mi(1ª) nas condições de estudo sem surdina e com a surdina 2, também, a média total dessas duas cordas de todos os instrumentos da pesquisa (vlns) nas mesmas duas condições de estudo.

Percebe-se, portanto, que a surdina dois apresentou um efeito mais próximo ao da surdina um, do que ao da três, nas 4ª e 3ª cordas, aproximando-se mais da atenuação provocada pela surdina três na 2ª corda e, principalmente, na 1ª.

Fica bastante evidente, nos gráficos 5.16 e 5.17, a atenuação muito maior provocada pela surdina três (o “abafador” de metal) em relação aos efeitos das outras duas surdinas.

Nos quadros 5 e 6 são listados os registros de intensidade das dez notas isoladas amostradas mais fortes e mais fracas, respectivamente. Chama a atenção, de imediato, o fato de haver, entre as dez notas mais fortes, nada menos que cinco gravadas com o uso da surdina dois; além disso, surpreendentemente, os dois sons mais fortes registrados em toda a pesquisa (ambos Dó#4, gravados com o violino três pelo sujeito três) foram feitos com esse dispositivo acoplado ao instrumento. As outras cinco notas mais fortes foram gravadas na condição sem surdina. Igualmente relevante é o fato de que todas as notas da

lista, gravadas com a surdina dois, foram Dó#4. Todas as demais, sem surdina, Dó5. Dos dez registros mais fortes, quatro foram feitos utilizando-se o violino três (inclusive os dois primeiros da lista) e cinco com o violino 5. Quanto ao quadro seis, com as dez notas mais fracas, não houve ocorrências tão notáveis, todos os registros da lista foram feitos com a utilização da surdina três como era previsível. Todos as notas listadas pertenciam à 5ª e 6ª oitavas da extensão amostrada, sendo três das mesmas o Si6, última altura da extensão amostrada. Chama a atenção ainda a presença de cinco Sol#, dentre as dez notas mais fracas, dois da 6ª oitava e três da 5ª. Cinco dos registros foram gravados com o violino um.

Quadro 5 - relação das dez notas isoladas mais fortes registradas

dB	vln	subj	surd	nota
-21,2	3	3	2	C#4
-21,4	3	3	2	C#4
-21,4	5	1	0	C5
-21,7	5	1	0	C5
-22	5	1	0	C5
-22,1	3	3	2	C#4
-22,1	5	3	0	C5
-22,2	3	3	2	C#4
-22,3	4	1	2	C#4
-22,4	5	1	0	C5

Quadro 6 - relação das dez notas isoladas mais fracas registradas

dB	vln	subj	surd	nota
-61,9	1	1	3	G#6
-61,9	1	1	3	G#6
-61,9	2	1	3	B6
-60,9	1	1	3	E6
-60,9	1	3	3	G#5
-60,9	1	3	3	B6
-60,9	3	1	3	B6
-60,9	4	2	3	G#5
-60,7	6	1	3	G#5
-60,5	5	1	3	A5

Nos quadros 7 e 8 são listados os registros de intensidade das dez médias de todas as repetições de uma mesma nota, feitas pelos três sujeitos (doze portanto, para cada condição de estudo) mais fortes e mais fracas, respectivamente. Novamente, o registro mais intenso foi feito com a utilização da surdina dois, sendo um Dó#4. Além de médias gravadas na condição sem surdina há também registros com a surdina um na relação. Metade das notas relacionadas são Dó#4 e a outra metade Dó5, como no caso das notas isoladas. Dentre os dez registros quatro dos seis violinos estão presentes. Na relação das notas mais fracas todas foram gravadas com o uso da surdina três, constando, apenas, notas da 5ª e 6ª oitavas, com predomínio do Sol#5, com quatro posições na relação. Oito das notas foram gravadas com os violinos um e dois, com quatro notas relacionadas cada um.

Quadro 7 - relação das dez médias de notas mais fortes registradas

dB	vln	surd	corda	nota
-23,56	3	2	4	C#4
-24,80	5	0	2	C5
-24,88	4	2	4	C#4
-25,09	5	1	3	C5
-25,48	6	2	4	C#4
-25,64	5	0	3	C5
-25,70	4	1	4	C#4
-25,93	4	0	4	C#4
-26,01	5	1	2	C5
-26,11	5	0	4	C4

Quadro 8 - relação das dez médias de notas mais fracas registradas

dB	vln	surd	corda	nota
-58,36	1	3	2	G#5
-57,55	1	3	1	G#6
-57,48	6	3	2	G#5
-56,95	3	3	2	G5
-56,94	1	3	3	C#5
-56,65	2	3	2	G#5
-56,59	1	3	3	A4
-56,56	2	3	1	A6
-56,44	2	3	2	A5
-56,36	2	3	3	C5

Foi feita, ainda, uma média dos valores de intensidade analisados, agrupando-os para cada interação entre sujeito, violino e surdina, resultando em 72 valores de média. Os resultados de uma Análise de Variância (ANOVA) aplicada entre as médias de intensidades observadas para cada condição (sem surdina e com as três diferentes surdinas), $F(3,68) = 662,6$, $p < 0,001$, sugerem uma diferença significativa, entre as condições de estudo, como pode ser observado no gráfico 5.19.

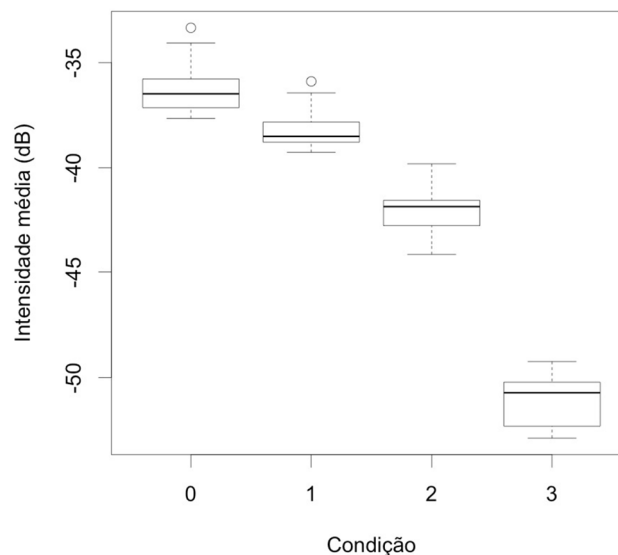


Gráfico 5.19 - Variação média da intensidade entre as quatro condições de estudo.

O mesmo teste foi aplicado para agrupamentos por Sujeitos (gráfico 5.20) e por Violinos (gráfico 5.21), de forma a verificar a influência destes fatores nos resultados

observados. Ambos falharam em demonstrar diferenças significativas entre os grupos (para agrupamentos por violinos: $F(5,66) = 0,098$, $p > 0,05$; e para agrupamentos por sujeitos: $F(2,69) = 0,018$, $p > 0,05$).

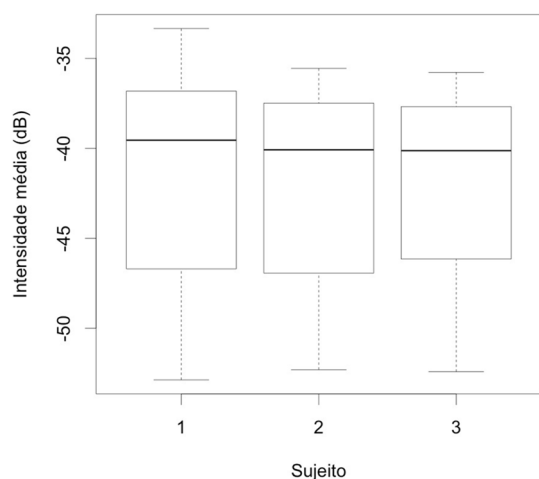


Gráfico 5.20 - Variação média da intensidade nas amostras dos três sujeitos.

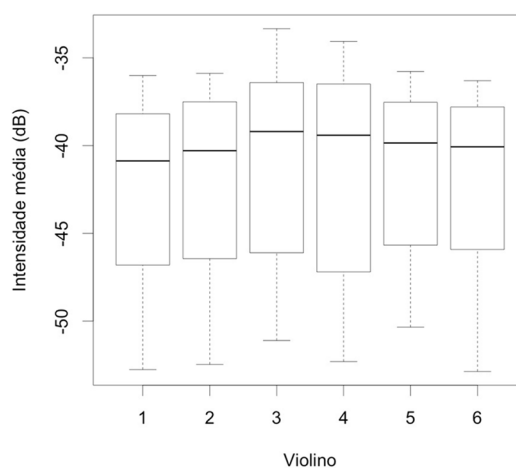


Gráfico 5.21 - Variação média da intensidade nas amostras dos seis violinos.

Nos quadros nove, dez e onze são apresentados os valores médios (com os respectivos desvios padrão) dos três agrupamentos (condição de estudo⁷⁰, sujeito e instrumento). Estes resultados reforçam a pertinência dos protocolos de execução instrumental e gravação, da parametrização utilizada, que foram desenvolvidos visando diminuir as influências dos sujeitos executantes no experimento. Indicam, também, que as surdinas têm um comportamento similar nos diferentes instrumentos, não havendo maior diferenciação entre os resultados obtidos com os mesmos nas diferentes condições de estudo.

⁷⁰ As médias e desvio padrão apresentadas pela análise ANOVA são diferentes dos valores constantes no quadro 3, onde foram feitas as médias e desvio padrão diretamente do conjunto de todas as amostras, a partir do valor original RMS das mesmas (com posterior conversão para intensidade expressa em dB), devido à assimetria demonstrada pela distribuição dos valores em RMS, o que impossibilitou a utilização do mesmo na ANOVA. A utilização dos valores já em dB para o ANOVA mostrou-se essencial, pois, sendo uma escala logarítmica, corrige essa assimetria e permite que o conjunto de dados cumpra com os pressupostos básicos da análise, que são: amostras aleatórias e independentes, populações com distribuição normal e variâncias populacionais iguais. O ponto número 2 (população com distribuição normal) é corrigido pela utilização dos valores em dB.

Quadro 9

condição de estudo	média	DP
surd0	-36,31	1,148381
surd1	-38,19	0,881377
surd2	-41,96	1,075216
surd3	-50,99	1,170739

Quadro 10

sujeitos	média	DP
su1	-41,68	6,35
su2	-41,91	5,62
su3	-41,99	5,6

Quadro 11

violinos	média	DP
vln1	-42,66	6,05
vln2	-42,18	5,86
vln3	-41,99	5,60
vln4	-41,11	6,30
vln5	-41,59	5,39
vln6	-42,00	5,73

5.2 Análise espectral

Os gráficos apresentados na seção 5.2.1 representam uma pequena seleção de espectros e médias de espectros de notas, escolhidos dentre o grande número de amostras registradas na pesquisa, onde são apresentadas algumas questões relativas aos diferentes aspectos da investigação espectral. Devida à enorme quantidade de notas que compõem o banco de dados da pesquisa (16.992 sons de dois segundos de duração cada), em múltiplas configurações definidas por três sujeitos executantes e quatro condições de estudo, seria impossível, nos limites da presente pesquisa, proceder à análise geral proposta por meio da comparação de espectros de notas isoladas. Procura-se, portanto, apenas, ilustrar, com alguns exemplos específicos de espectros, situações como a análise dos resultados obtidos pela padronização da coleta das amostras (entre um mesmo sujeito e entre sujeitos diferentes), e a variação espectral verificada em notas isoladas pelo uso das diferentes surdinas.

Uma visão ampla do efeito produzido no espectro harmônico dos instrumentos analisados, quando submetidos à ação das diferentes surdinas, será apresentada na seção seguinte, 5.2.2, por meio da LTAS, que mostrou ser um meio eficiente para representar o

comportamento geral da resposta harmônica dos instrumentos, possibilitando uma comparação entre as quatro condições de estudo.

5.2.1 Espectros harmônicos

No gráfico 5.22 são representados os espectros harmônicos das quatro repetições da nota Sol3 tocadas por um mesmo sujeito no violino um com a surdina dois e a média dos quatro espectros. Pode-se observar, nesse gráfico, a grande estabilidade obtida na leitura espectral das quatro repetições dessa mesma nota. Pode-se relacionar à padronização implementada, tanto pelo protocolo de execução instrumental quanto pelo protocolo de gravação, a natureza desses resultados, observados em maior ou menor grau ao longo das amostras.

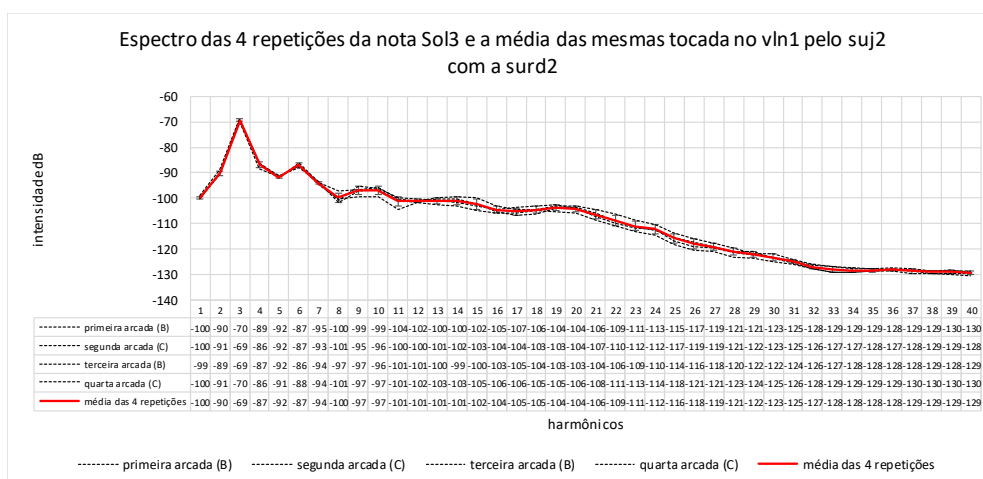


Gráfico 5.22 – Espectros das quatro repetições nota Sol3 tocada no violino um, pelo sujeito dois, com a surdina dois, e a média das mesmas.

Nos gráficos 5.23 e 5.24 são apresentadas, em cada um deles, as três médias resultantes das quatro repetições da nota Lá4 (corda solta) tocadas por cada um dos sujeitos, e a média entre todas as 12 repetições, considerando-se os três sujeitos, nos violinos um e seis.

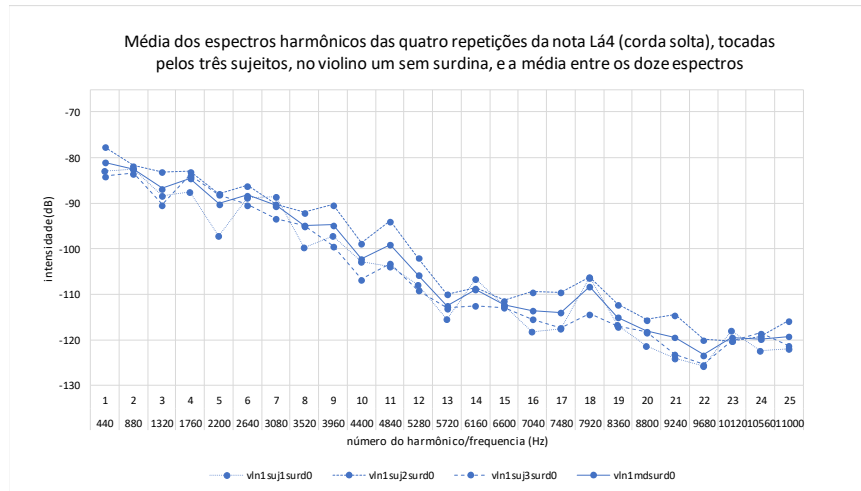


Gráfico 5.23 – Espectros das médias das quatro repetições da nota Lá4 tocadas no violino um por cada um dos sujeitos e a média entre todas as repetições, sem surdina.

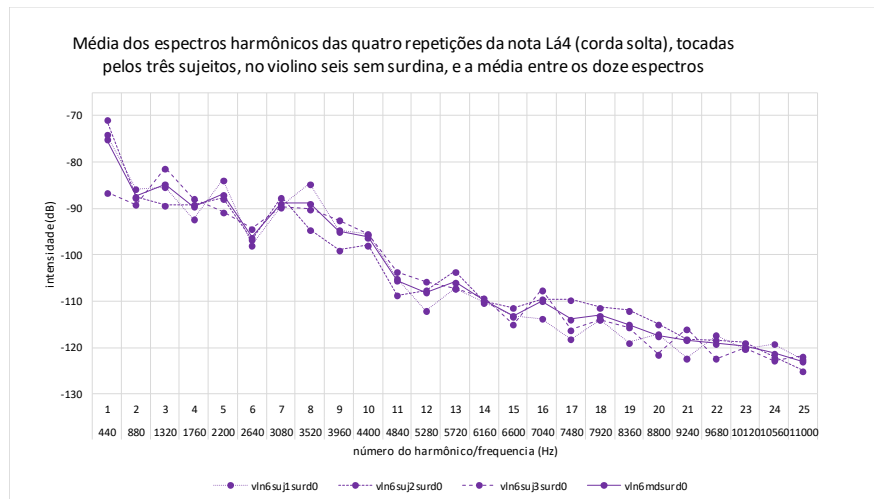


Gráfico 5.24 – Espectros das médias das quatro repetições da nota Lá4 tocadas no violino seis por cada um dos sujeitos e a média entre todas as repetições, sem surdina.

Pode-se observar que, embora as médias dos espectros harmônicos, resultantes da execução de cada um dos sujeitos, não apresentem uma similaridade tão significativa entre si quanto as observadas entre os espectros das repetições da mesma nota feitas por um mesmo sujeito (gráfico 5.22), os contornos gerais dos três espectros preservam as características básicas nas três curvas.

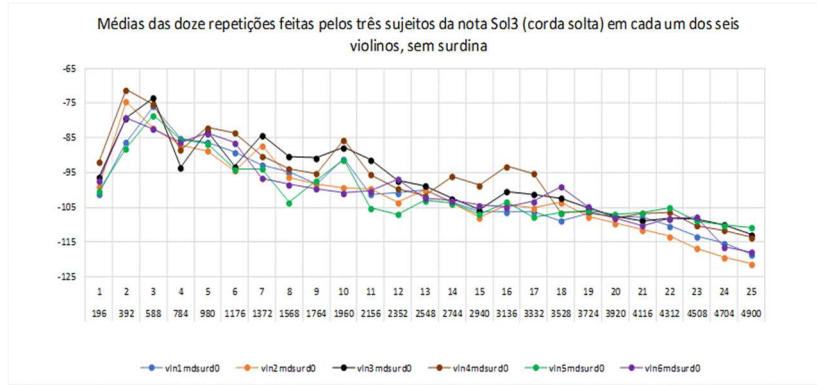


Gráfico 5.25 – Médias dos espectros das doze repetições da nota Sol3 tocadas pelos três sujeitos em cada um dos violinos, sem surdina.

No gráfico 5.25 podemos observar, nas médias dos espectros de todas as doze execuções da nota Sol3 (corda solta), feitas pelos três sujeitos, para cada um dos violinos, que as características principais conhecidas do espectro da região grave do instrumento estão presentes nas curvas de todos os seis violinos: primeiro harmônico (frequência fundamental) de intensidade notadamente inferior aos seguintes (como pode ser observado no presente gráfico, até aos próximos seis harmônicos seguintes), com grande proeminência da segunda e terceira parciais (MEYER, 2009; SAUNDERS, 1937).

Nos gráficos 5.26, 5.27, 5.28 e 5.29 são apresentados os espectros harmônicos da primeira execução do Si6 (nota mais alta registrada na amostragem), tocado no violino três, por diferentes sujeitos nas quatro condições de estudo. Pode-se observar, na condição sem surdina (gráfico 5.26), a configuração diferente das parciais harmônicas, em relação ao registro grave do instrumento, onde o primeiro harmônico apresenta-se como a parcial de maior intensidade.

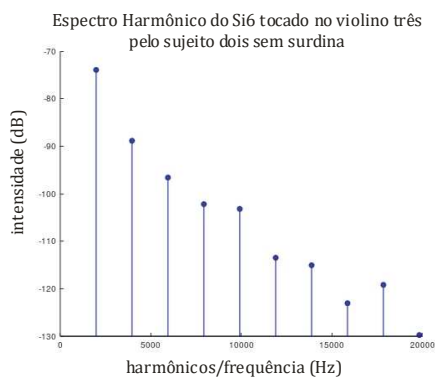


Gráfico 5.26 – Espectro harmônico do Si6 tocado sem surdina.

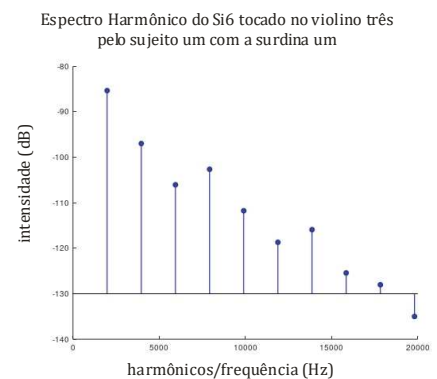


Gráfico 5.27 – Espectro harmônico do Si6 tocado com a surdina um.

Fica evidente a grande alteração espectral produzida pela ação das surdinas, notadamente nos gráficos 5.28 e 5.29, onde a surdina dois e três, respectivamente, alteram completamente a configuração da intensidade das parciais. Sobretudo com uso da surdina três, o espectro ganha certa semelhança com o de notas graves do instrumento, onde a primeira parcial não possui a maior intensidade.

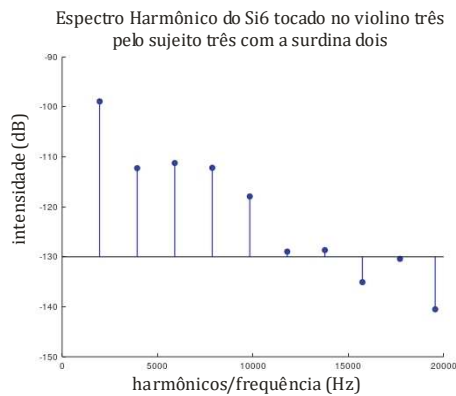


Gráfico 5.28 – Espectro harmônico do Si6 tocado com a surdina dois.

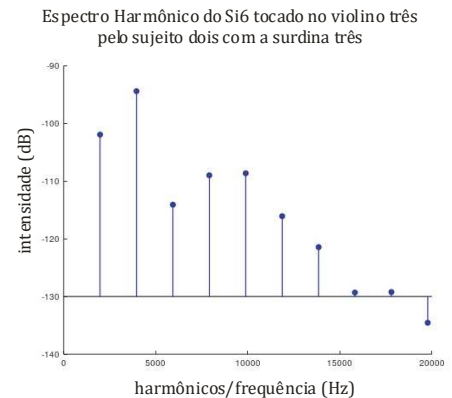


Gráfico 5.29 – Espectro harmônico do Si6 tocado com a surdina três.

Nos próximos quatro gráficos de espectros harmônicos (5.30, 5.31, 5.32 e 5.33) são apresentadas as leituras das primeiras vinte e cinco parciais da nota Dó#4, tocada no violino cinco, pelos três sujeitos nas quatro condições de estudo. Representante típica do registro grave do violino, o espectro da condição sem surdina apresenta a primeira parcial inferior à segunda (gráfico 5.30). Com o uso das surdinas um e dois essa configuração é alterada, passando a ser o primeiro harmônico a parcial de maior intensidade (gráficos 5.31 e 5.32).

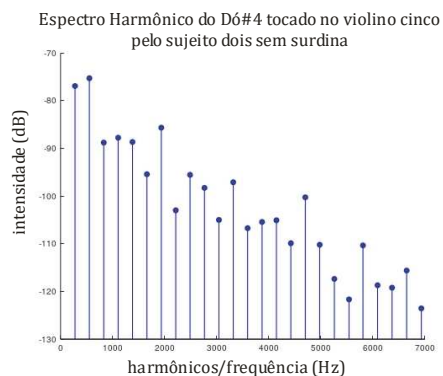


Gráfico 5.30 – Espectro harmônico do Dó#4 tocado sem surdina.

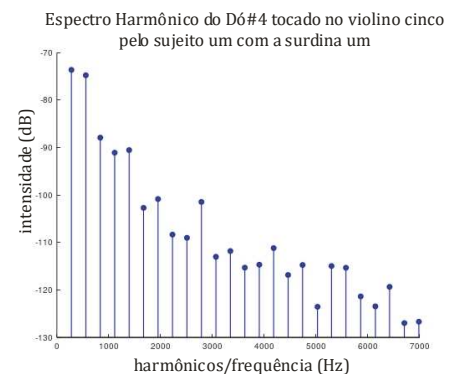


Gráfico 5.31 – Espectro harmônico do Dó#4 tocado com a surdina um.

Com o uso, porém, da surdina três, a distribuição de energia entre as parciais harmônicas é novamente alterada, passando a ser o quarto harmônico a parcial de maior intensidade, tendo ainda os segundo e terceiros harmônicos maior intensidade que a primeira parcial.

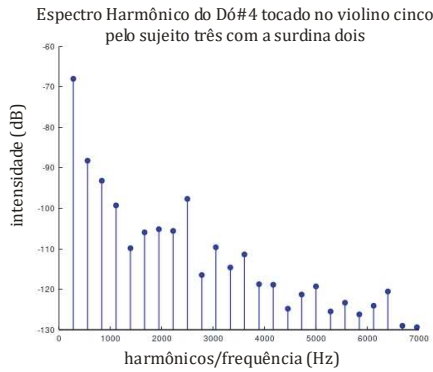


Gráfico 5.32 – Espectro harmônico do Dó#4 tocado com a surdina dois.

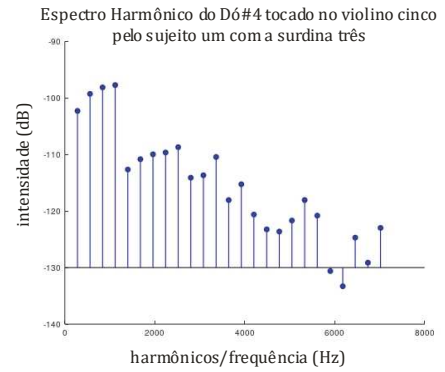


Gráfico 5.33 – Espectro harmônico do Dó#4 tocado com a surdina três.

Por último, nos gráficos 5.34 e 5.35, são apresentados dois espectros harmônicos que ilustram uma situação observada em muitas amostras: a manutenção de praticamente a mesma intensidade com a utilização das surdinas um e dois, em relação à condição sem surdina. Apesar disso, porém, continua havendo, em maior ou menor grau, uma nítida alteração do timbre, perceptível claramente ao se escutar as gravações. Nesse contexto, a análise dos espectros harmônicos permitiu observar a presença de uma grande variação na intensidade das parciais, em relação à condição sem surdina, representando de forma objetiva uma alteração significativa, que pode ser relacionada diretamente à alteração da percepção do timbre.

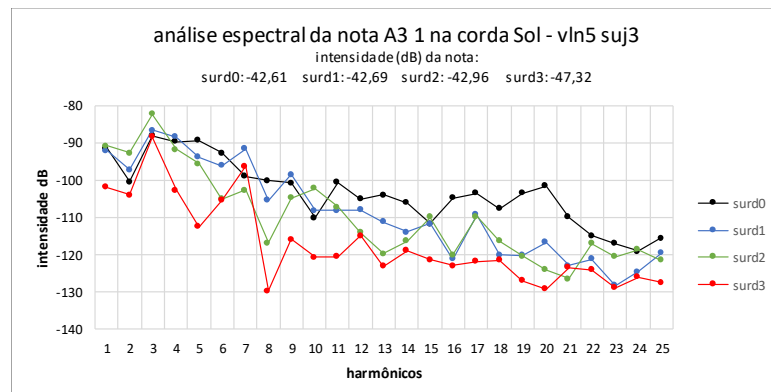


Gráfico 5.34 – No cabeçalho do gráfico é informada a intensidade da nota A3. Observe-se que nas condições surd0, surd1 e surd2, a variação da intensidade é mínima. Já no espectro há uma grande variação nas intensidades relativas das parciais harmônicas.

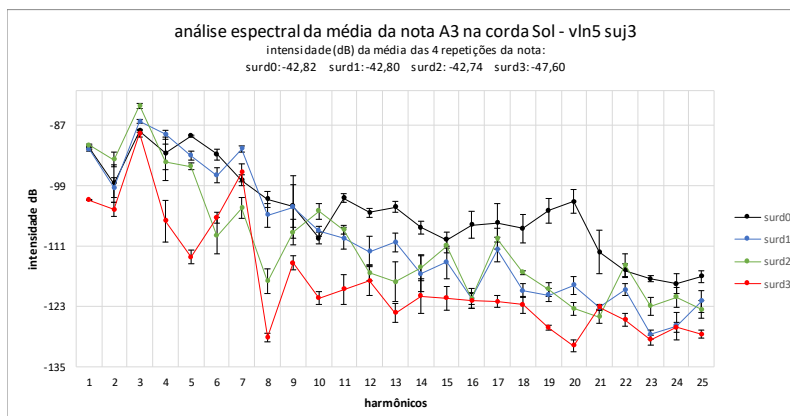


Gráfico 5.35 – No cabeçalho do gráfico é informada a intensidade da média das repetições da nota A3. Observe-se que nas condições surd0, surd1 e surd2, a variação da intensidade é mínima. Já no espectro há uma grande variação nas intensidades relativas das parciais harmônicas.

No gráfico 5.34 é apresentada uma situação dessa natureza, com a análise dos registros de uma nota específica (a primeira repetição do Lá3 tocada no violino cinco pelo sujeito três) e no gráfico 5.35, a mesma situação, porém, com as médias dos espectros das quatro repetições dessa mesma nota. Em ambas as análises, o padrão observado se repete: enquanto as leituras de intensidade nas condições de estudo surd0, surd1 e surd2 são muito próximas (tanto na nota isolada, gráfico 5.34, quanto na média das quatro repetições, gráfico 5.35) a variação espectral observada em cada condição de estudo é bastante significativa.

5.2.2 Gráficos de LTAS

Nos gráficos 5.36 e 5.37 podemos observar a relação entre as leituras LTAS do registro integral de cada sujeito com um dado instrumento em uma condição de estudo e a LTAS resultante da leitura agrupada dos três sujeitos com o mesmo instrumento e mesma condição de estudo⁷¹. Percebe-se que a leitura conjunta representa um valor médio das variações da LTAS de cada sujeito isolado. Na condição sem surdina (gráfico 5.36) há, relativamente, pouca diferença entre os diferentes sujeitos, sobretudo, no começo do espectro, onde há uma grande coincidência entre os resultados dos três sujeitos (até por volta de 800 Hz). Com a utilização da surdina três (gráfico 5.37), as

⁷¹ Vide seção 4.12 Implementação da LTAS

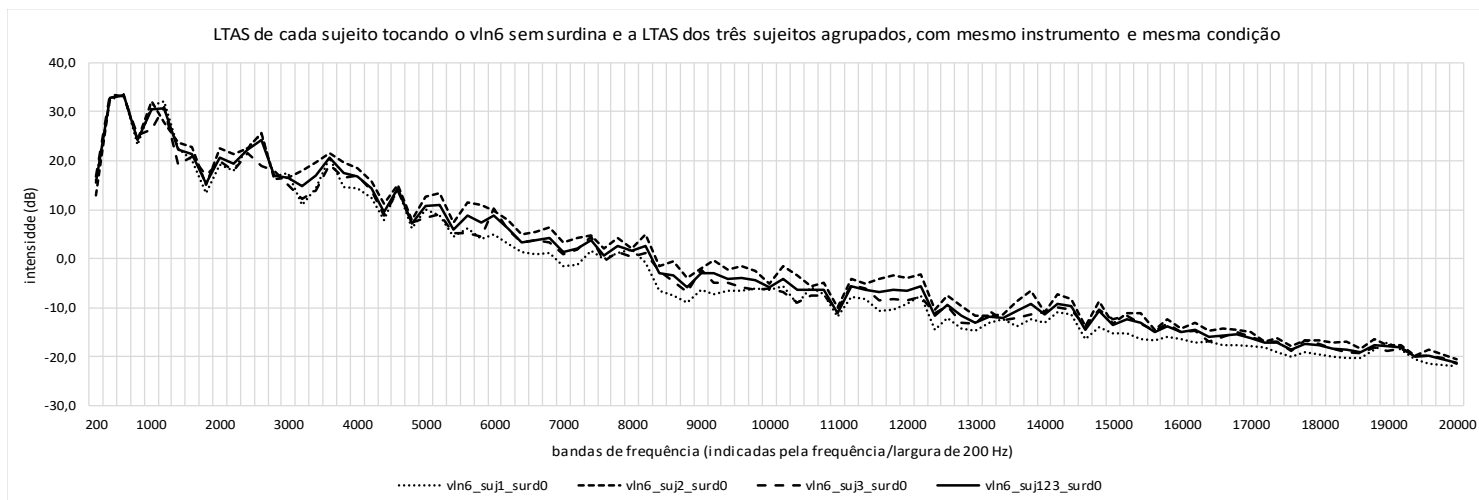


Gráfico 5.36 –Gráfico apresentando as LTAS dos três sujeitos, separadamente, tocando o violino seis sem surdina e a LTAS dos registros agrupados dos três com mesmo instrumento e mesma condição de estudo.

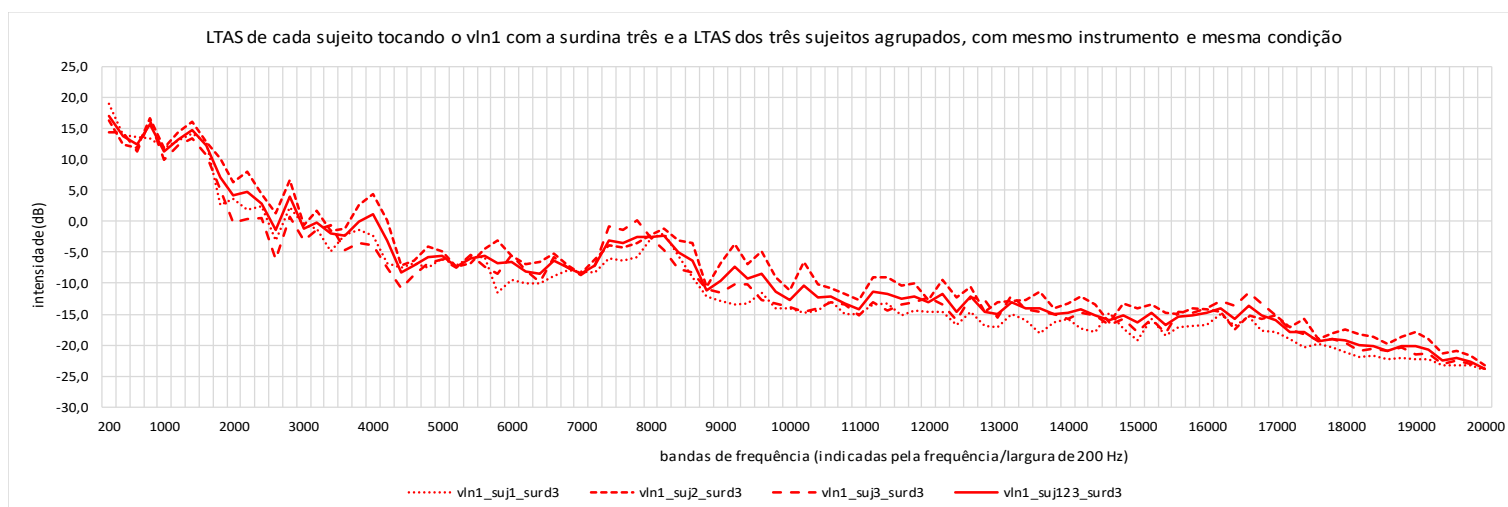


Gráfico 5.37 –Gráfico apresentando as LTAS dos três sujeitos, separadamente, tocando o violino um com a surdina três e a LTAS dos registros agrupados dos três com mesmo instrumento e mesma condição de estudo.

leituras apresentam uma variedade um pouco maior entre os sujeitos, sobretudo na faixa dos 4000 Hz e entre 9000 e 12000 Hz. Nas frequências iniciais, porém, a variação é menor.

Resultados similares foram observados em todas as LTAS, havendo, no geral, uma tendência de alteração maior nas leituras de cada sujeito, em relação às respectivas médias obtidas a partir dos registros dos três sujeitos agrupados, com a utilização das surdinas, principalmente, a três. No geral, pode-se considerar as curvas LTAS dos três sujeitos bastante regulares, sobretudo nas cinco primeiras faixas de análise, que cobrem 1000 Hz.

Nos quatro próximos gráficos (5.38, 5.39, 5.40 e 5.41) são apresentadas as LTAS dos agrupamentos dos registros dos três sujeitos de cada violino e a LTAS de todos os violinos agrupados, em cada uma das condições de estudo, respectivamente. As leituras dos seis instrumentos apresentaram contornos gerais aproximados, sobretudo com a utilização da surdina um (gráfico 5.39) e da dois (gráfico 5.40), esta com exceção da faixa entre 5000 e 8000 Hz, na qual dois violinos (o dois e o cinco) apresentam uma queda significativa de intensidade que afasta as suas curvas da leitura do agrupamento de todos os instrumentos e, também, da dos outros instrumentos isolados. A maior similaridade entre as curvas de resposta continua a ser observada nas primeiras bandas de análise, com destaque, também, nesse aspecto, para as surdinas um e dois, sobretudo esta última, com a qual todas as leituras mantiveram uma grande semelhança até os 1600 Hz, aproximadamente. Na condição sem surdina (gráfico 5.38) chama a atenção o violino dois, cuja curva afasta-se das curvas dos demais violinos e do agrupamento de todos os instrumentos por uma faixa de frequência relativamente longa, dos 3000 aos 6000 Hz, aproximadamente, e o violino três, que apresenta um aumento significativo em sua curva entre 1600 e 2400 Hz, afastando-se das demais leituras. Nos registros com a surdina três (gráfico 5.41) observou-se o comportamento mais variado das diversas LTAS. Foi a única condição de estudo onde não houve maior coincidência das curvas resultantes do agrupamento de dados de cada violino nem mesmo nas primeiras bandas de análise. Apenas em uma única faixa, a dos 1800 Hz, há uma convergência significativa de todas as leituras. Destaca-se, nesse gráfico, o violino seis, que em vários pontos ao longo das faixas de frequências analisadas, afasta-se significativamente de todas as demais curvas (6000 a 8000 Hz, 8800 a 9800 Hz, 12400 a 13800 Hz e 17600 a 18400 Hz).

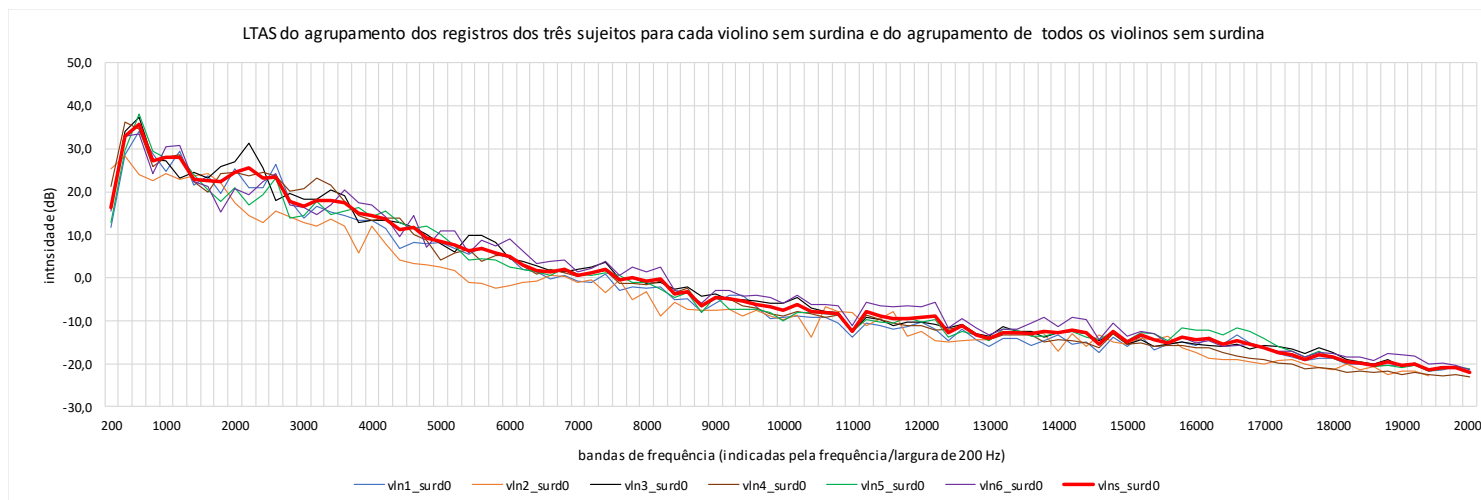


Gráfico 5.38 – Gráfico apresentando as LTAS dos registros dos três sujeitos agrupados para cada violino sem surdina e LTAS do agrupamento de todos os violinos na mesma condição de estudo.

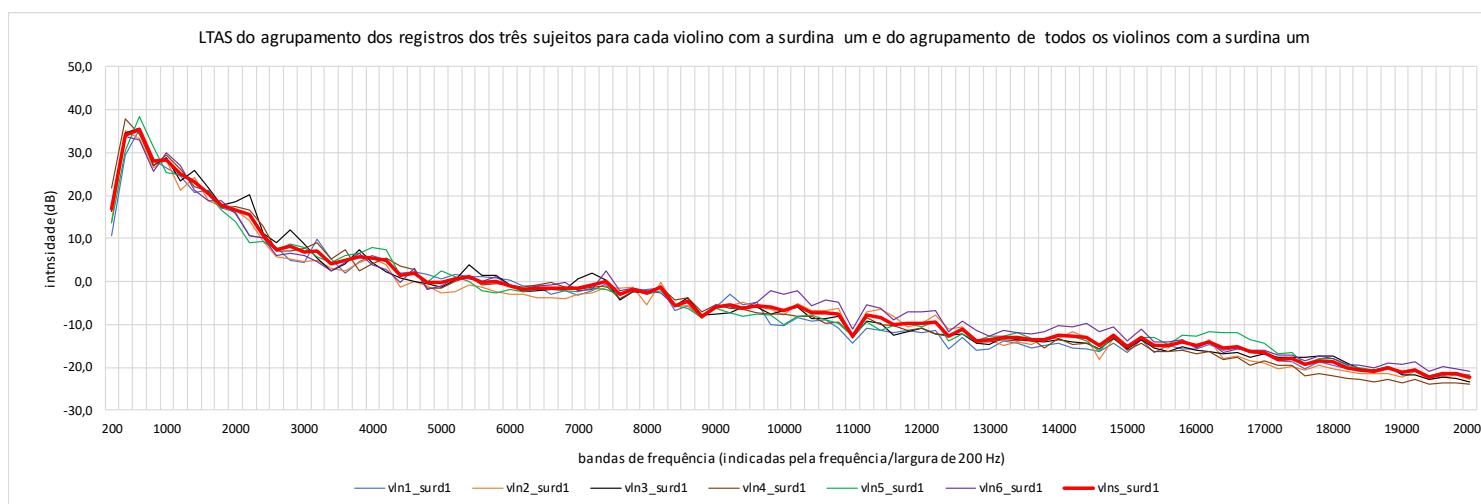


Gráfico 5.39 – Gráfico apresentando as LTAS dos registros dos três sujeitos agrupados para cada violino com a surdina um e LTAS do agrupamento de todos os violinos na mesma condição de estudo.

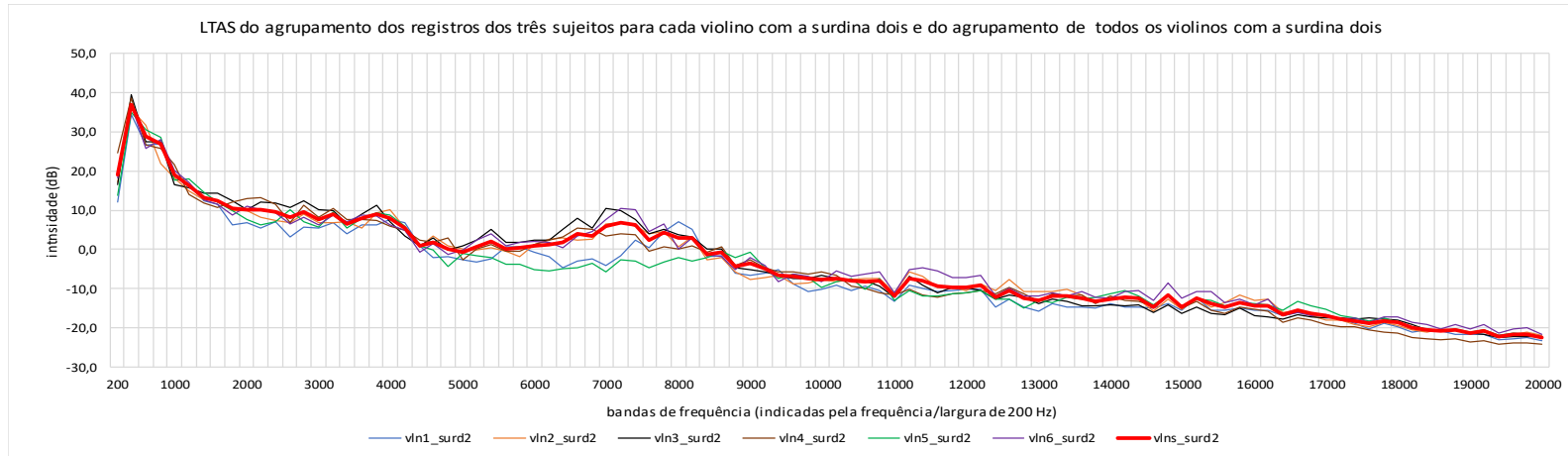


Gráfico 5.40 – Gráfico apresentando as LTAS dos registros dos três sujeitos agrupados para cada violino com a surdina dois e LTAS do agrupamento de todos os violinos na mesma condição de estudo.

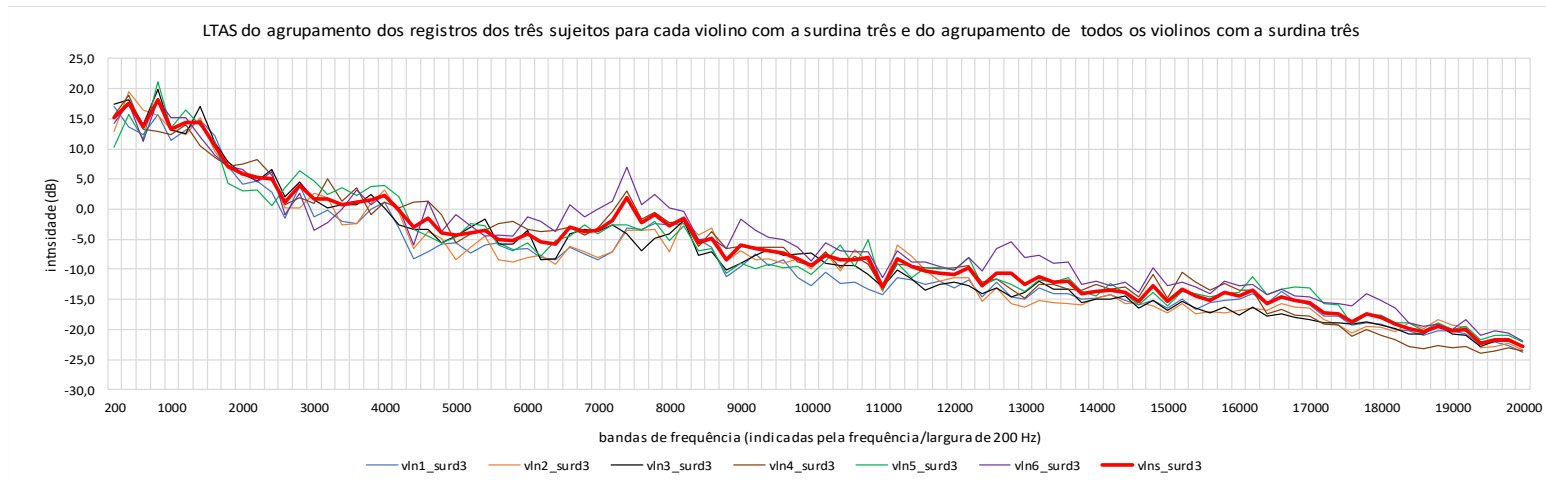


Gráfico 5.41 – Gráfico apresentando as LTAS dos registros dos três sujeitos agrupados para cada violino com a surdina três e LTAS do agrupamento de todos os violinos na mesma condição de estudo.

No gráfico 5.42 é apresentada a comparação das LTAS de todos os instrumentos agrupados, nas quatro condições de estudo, representando, portanto, o comportamento médio dos dispositivos nos seis violinos amostrados⁷². O primeiro aspecto a ser observado é que a variação entre as curvas das diferentes condições situa-se, claramente, até a altura dos 10000 Hz aproximadamente. A partir desse ponto, as leituras das LTAS apresentam valores muito próximos, com alguma variação mais significativa apenas aos 13000 Hz, onde há um pequeno aumento na intensidade da leitura da surdina três. Até a faixa dos 400 Hz as surdinas um e dois mantêm seus valores muito próximos à condição sem surdina, sendo que a surdina um ainda permanece próxima à curva sem surdina até aos 1200 Hz, aproximadamente, quando então diminui significativamente sua intensidade, igualando-se à curva da surdina dois na faixa dos 2600 Hz. Nesse ponto, há, também, na surdina três, um pico de menor intensidade. Interessante observar que essa faixa de frequência está bem próxima da ressonância, associada ao cavalete, conhecida como *bridge hill*⁷³ (localizada, geralmente, por volta dos 3000 Hz). Esse ponto representa a maior variação de intensidade da surdina um e o segundo maior da dois, em relação à condição sem surdina. Outro destaque do comportamento da surdina dois pode ser observado entre 6400 e 8900 Hz, faixa na qual o dispositivo produz um aumento significativo da leitura LTAS enquanto as outras duas surdinas não apresentam resposta similar, embora a surdina três, na faixa de 7400 Hz, apresente um ligeiro pico de aumento de intensidade de seu valor nesse ponto que a iguala (apenas nessa faixa) à condição sem surdina.

No gráfico 5.43, no qual são apresentadas as curvas resultantes da diferença entre as leituras LTAS das diferentes condições de estudo, delinea-se uma representação da ação como filtro acústico das três surdinas. Chama a atenção prontamente, não obstante o comportamento específico de cada dispositivo, ser possível distinguir uma faixa delimitada pelos extremos máximos e mínimos de variação dos diferentes dispositivos ao longo da extensão de frequências analisadas, até aproximadamente os 9400 Hz, ora mais larga, ora mais estreita, que mantém, porém, certa simetria entre as curvas das três

⁷² Gráficos similares, representando, porém, o agrupamento de dados para cada violino, estão disponíveis no Apêndice B.

⁷³ Vide seção 2.5.5 O cavalete.

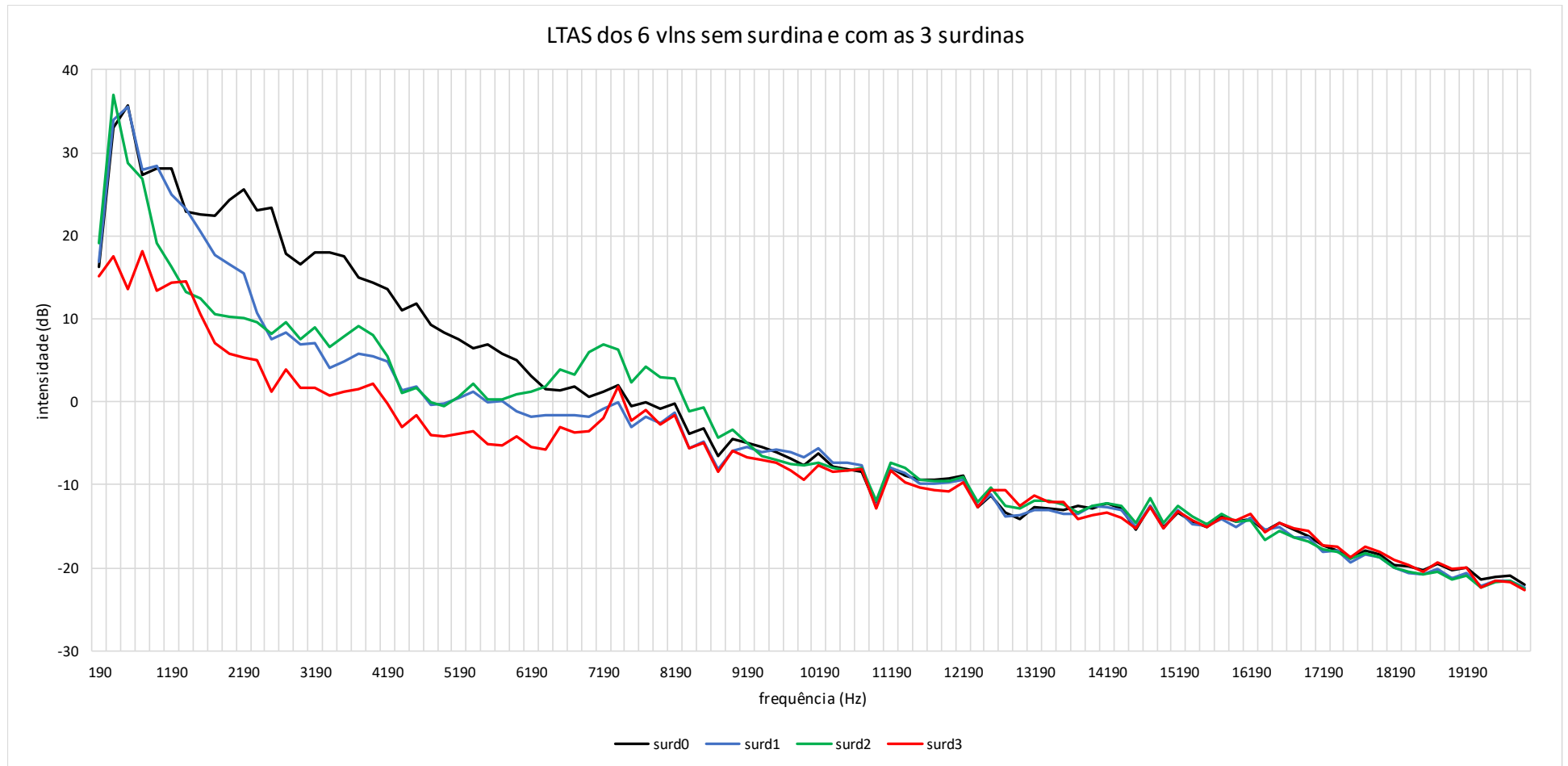


Gráfico 5.42 – Gráfico apresentando as LTAS de todos os registros agrupados para cada violino, em cada uma das quatro condições de estudo.

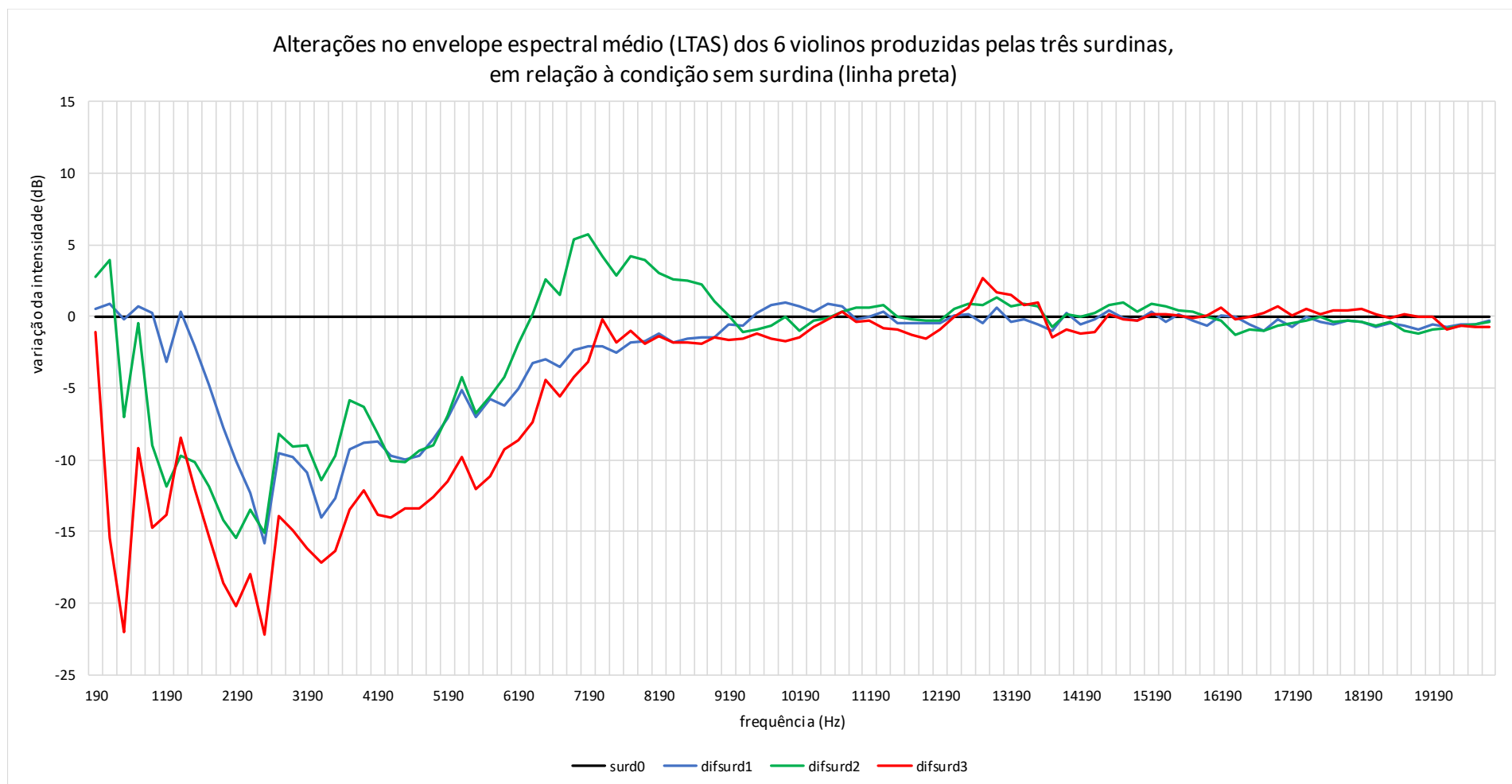


Gráfico 5.43 – Gráfico representando a resposta como filtro acústico das três surdinas, baseado na variação de intensidade na leitura LTAS de cada uma das surdinas em relação à condição sem surdina, ao longo da faixa de frequência analisada.

surdinas, delimitando o raio de ação das mesmas. O limite superior dessa faixa de variação é definido pela surdina dois até os 400 Hz, quando então passa a ser representado pela surdina um até a faixa dos 2600, altura em que volta a ser delimitada pela curva da surdina dois. O limite inferior da faixa é representado sempre pela curva da surdina três, à exceção do trecho entre 7200 e 7800 Hz, no qual a leitura da surdina um assume o limite inferior da faixa de variação. Sobretudo dos 1400 até os 8000 Hz, aproximadamente, são surpreendentemente coincidentes os limites extremos dessa zona comum de atuação das surdinas, com a surdina um e dois alternando-se no limite superior da mesma e a terceira mantendo-se no limite inferior quase todo o tempo. Tal comportamento sugere que, não obstante as particularidades de cada dispositivo, os mesmos teriam uma atuação similar relativa, especificamente, a determinadas faixas de frequência.

Podem ser ainda destacados os trechos em que as leituras LTAS com as surdinas registraram valores superiores à condição sem surdina. Até aos 400 Hz as surdinas um e dois mantiveram suas curvas acima da condição sem surdina, sobretudo a dois. A surdina um registrou, além desse ponto, outras ocorrências do gênero em faixas isoladas, e, sempre, com pequenos valores, em 800, 1000 e 1200 Hz, de 9600 a 10800 Hz e, por último, na faixa dos 13000 Hz. Já a surdina dois apresentou uma grande área de aumento de intensidade, em relação à condição sem surdina, dos 6600 aos 9000 Hz, onde atingiu o valor máximo de 5,7 dB acima da leitura da condição sem surdina, aos 7200 Hz. Apresentou, ainda, outro trecho de alteração similar, de bem menor intensidade, entre os 12400 e 13600 Hz. Essa mesma região registrou, também, o único trecho em que a curva de alteração da surdina três apresentou, em pequena medida, valores superiores à condição sem surdina. A maior diminuição da intensidade das leituras LTAS foi provocada por essa surdina, 22,2 dB a menos que a LTAS sem surdina, na faixa dos 2600 Hz (frequência próxima ao já mencionado *Bridge Hill*).

Por último, os gráficos 5.44 e 5.45 possibilitam uma comparação entre o fator de redução na intensidade geral da média das notas amostras (gráfico 5.44) e a alteração no comportamento espectral fornecido pelas curvas de LTAS. Para tanto, foi feita a LTAS dos agrupamentos de dados totais de todos os instrumentos em cada uma das condições de estudo, até os 2000 Hz (faixa da fundamental da nota mais aguda amostrada, o Si₆, com 1976 Hz) com uma resolução maior (largura de banda para a análise LTAS de apenas 10

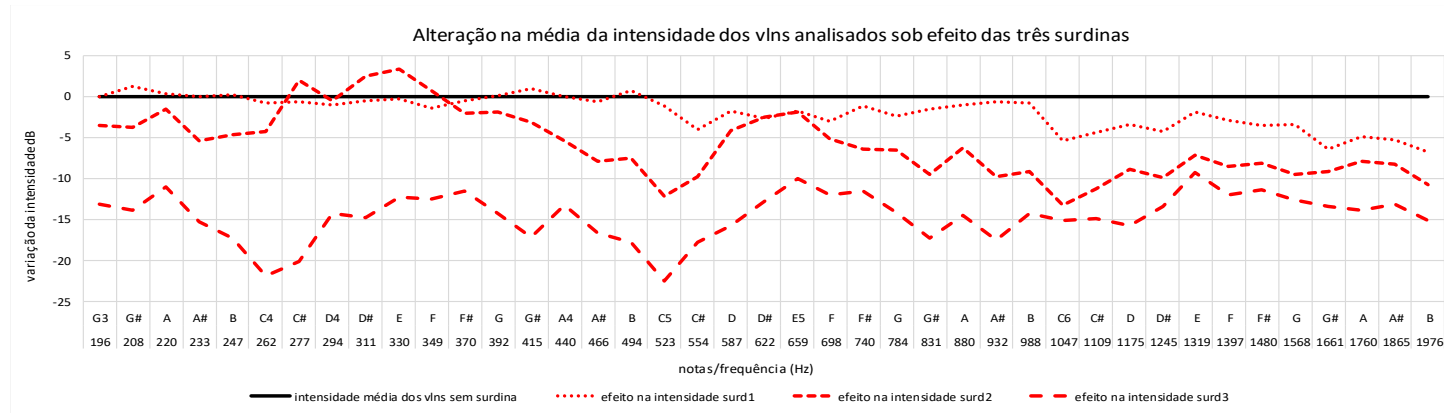


Gráfico 5.44 – Apresenta as curvas de variação da intensidade, ao longo da extensão analisada dos instrumentos, provocadas por cada uma das surdinas em relação à condição sem surdina, com as frequências das fundamentais das notas, para comparação com a leitura LTAS (gráfico 5.45).

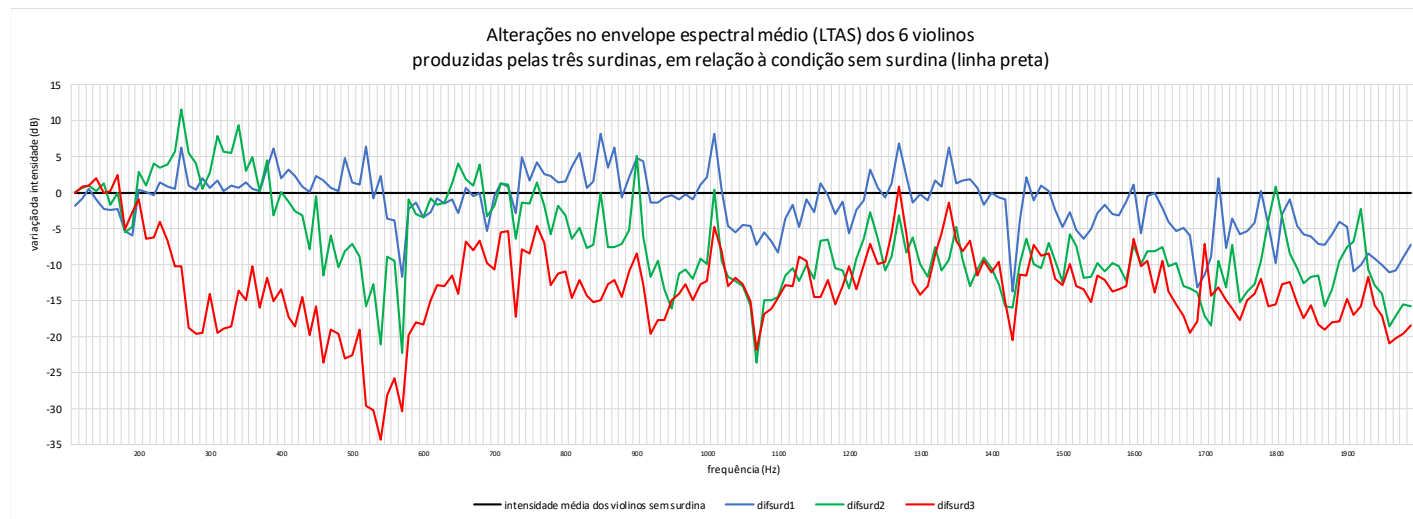


Gráfico 5.45 – Gráfico representando a resposta como filtro acústico das três surdinas, baseado na variação de intensidade na leitura LTAS de cada uma das surdinas em relação à condição sem surdina, ao longo da faixa de frequência analisada, com resolução maior da LTAS (largura de faixa de 10 Hz), para comparação com a alteração na intensidade das notas (gráfico 5.44).

Hz, sem a função “*pitch corrected*”), conforme gráfico 5.45. A comparação entre os dois gráficos sugere que a maior concentração de energia do espectro harmônico nas primeiras parciais, em maior ou menor medida, leva a certa similaridade entre as duas curvas, ou seja, a curva de variação da LTAS pode ser relacionada diretamente com a curva da alteração na intensidade geral das amostras. Isso é evidenciado por coincidências seguidas no contorno das duas curvas, por exemplo: a alteração positiva na leitura LTAS da surdina um na faixa dos 200 Hz coincide com o aumento da intensidade do Sol#3, bem como o aumento da intensidade do Sol#4 coincide com a alteração, também positiva, da LTAS na faixa dos 415 Hz; o aumento do valor da LTAS da surdina dois, na faixa de 200 a 400 Hz, coincide com o aumento de intensidade das notas Dó#4 até o Fá4; e, por último, as três surdinas apresentam uma grande queda de seus valores, em relação à condição sem surdina, na faixa dos 550 Hz, frequência próxima ao Dó5 e Dó#5, notas em que o uso das três surdinas provocou grande perda de intensidade, sobretudo, com a surdina três, que registrou no Dó5, sua maior atenuação (menos 22 dB em relação à condição sem surdina).

6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Eventualmente, o que mais pode chamar a atenção, num primeiro momento, nos resultados obtidos pela presente pesquisa, relaciona-se à análise de intensidade: o surpreendente aumento da mesma com o uso de surdinas em muitas amostras. Ilustra bem a situação, o simples fato do registro de maior intensidade em toda a amostragem ter sido feito com o uso da surdina dois. Tal aumento de intensidade, em relação à condição sem surdina, foi observado com o uso não somente da surdina dois, mas, também, com a surdina um, em inúmeras notas isoladas e, conseqüentemente, nas médias das mesmas. Surpreendente, por contrariar a concepção primeira do que seria o efeito esperado de uma surdina. Surpreendente, também, por não ter sido encontrada nenhuma mínima menção ou referência a esse tipo de resultado em toda a bibliografia pesquisada. O primeiro efeito sempre citado das surdinas e, em muitos casos, considerado como o principal (sendo, ainda, em determinados contextos, colocado como a sua função principal), seria, justamente, a atenuação da intensidade sonora original dos instrumentos. Ainda que, hoje, se considere que o seu real objetivo seja a alteração do timbre.

Embora a intensidade média geral de todos os violinos tenha sofrido redução com o uso das três surdinas (vide gráfico 5.17), em todos os instrumentos, o efeito de aumento da intensidade, por outro lado, também ocorreu, com as surdinas um e dois em alturas específicas, e impactou as médias de todos os violinos reunidos (vide gráficos 5.9a, 5.9b, 5.14 e 5.15). Em tal proporção que não se pode considerar apenas como ocorrências isoladas (mesmo diante dos limites impostos pela quantidade, relativamente pequena, de instrumentos analisados e repetições de cada nota e, também, pelo padrão único de execução instrumental adotado no estudo), os números são muito significativos: a surdina um aumentou a intensidade das médias das execuções de todos os sujeitos para uma mesma nota (doze amostras, portanto, em cada instrumento) em onze notas nos violinos um e três, em treze no violino dois, em dezessete no violino quatro, em dezoito no violino cinco e em quatorze no violino seis; já a surdina dois, produziu o mesmo efeito nas médias de oito notas nos violinos um, dois e três, em nove nos violinos quatro e seis e em treze no violino cinco; e, até mesmo a surdina três, a de metal, registrou um único caso de média de nota a sofrer um ligeiro aumento de intensidade (0,17 dB) no violino cinco. Embora as

ocorrências sejam em menor número com a surdina dois, por outro lado, o aumento de intensidade em relação à condição sem surdina foi maior com a mesma. Tendo em mente que, contando com as notas amostradas em mais de uma corda, cada instrumento teve 59 registros de notas, dezoito ocorrências com a surdina um no violino cinco, por exemplo, é um percentual muito relevante.

Por si só, tais observações já permitem concluir que as surdinas, aparentemente muito simples em sua lógica de funcionamento, na verdade, revelam-se como dispositivos de comportamento extremamente complexo, definido por suas diferentes características físicas e sua ação junto ao cavalete, sugerindo, mesmo, serem capazes de interagir com outras propriedades acústicas do corpo do violino. Identificar, porém, como tais interações ocorrem e o que especificamente, dentre as características físicas dos dispositivos, leva a determinado efeito, constitui o grande desafio da pesquisa na área.

Nesse sentido devem ser considerados, como parâmetros para discussão, as três propriedades físicas básicas das surdinas: seu peso, o material de que são feitas e a área de contato com o cavalete (eventualmente, o formato dos dispositivos pode influenciar, também, nesse quesito). Tomando-se como exemplo, o caso da surdina dois, percebe-se as dificuldades do tema. Essa surdina mostrou-se a de comportamento mais complexo. Como já exposto no Capítulo 5, ao mesmo tempo que reduziu a intensidade, no começo da extensão pesquisada, consideravelmente mais do que a surdina um, ainda na região grave do instrumento (Dó#4) provocou um pico de aumento de intensidade nas médias, mantendo o efeito por mais três notas (Ré#4, Mi4 e Fá4), para, logo em seguida, aumentar drasticamente seu efeito de atenuação, aproximando-se muito, por exemplo no Dó6 e Mi6, da faixa de redução da surdina três. Se comparada às outras duas surdinas, suas características físicas contêm elementos de proximidade com ambas: é feita de madeira de alta densidade (ébano) que estaria mais próxima, nesse quesito, à surdina de metal do que à surdina um, feita de borracha relativamente macia; seu peso (5,70 gramas), porém, está muito mais para o da surdina um (1,85 gramas), do que para as 44,9 gramas da surdina três. Se sua área de contato é menor que a da surdina um, por outro lado, toca o cavalete em três pontos, assemelhando-se, nesse sentido, mais à surdina três do que à surdina um, que possui um único dente, no caso da pesquisa, acoplado sempre entre as cordas centrais. O seu efeito, porém, não pode ser considerado como mais próximo nem à surdina um, nem à três, e, nem sequer, como intermediário entre a ação destas (que,

diga-se de passagem, apresentaram uma atuação bem mais regular, conforme o cálculo do desvio padrão das médias de seus efeitos demonstra, tanto da intensidade média, quanto da média de atenuação⁷⁴, sobretudo a três). Antes, mostrou um comportamento oscilante, ora mais próximo a uma, ora mais próximo à outra, de acordo com a frequência observada.

Recorrendo-se à pesquisa disponível na área, observa-se que, das propriedades físicas das surdinas, a única que é mencionada, eventualmente, em pesquisas acerca do cavalete, em que são citadas, é o peso e sua relação com a alteração dos modos de vibração do mesmo (CREMER, 1984; ELIE; GAUTIER; DAVID, 2014; FLETCHER; ROSSING, 2012; KISHI, 1998). Fletcher, por exemplo, observa: *“In order to darken the sound of a string instrument, the player attaches a mute to the bridge. The main effect of this additional mass is to shift the bridge resonances to lower frequency”*⁷⁵ (FLETCHER; ROSSING, 2012, p. 299), citando em seguida um estudo de Hacklinger que teria constatado um deslocamento da ressonância principal do cavalete dos 3000 Hz habituais para 2850 Hz com a utilização de uma surdina de 0,32 gramas e para 2240 Hz com uma de 0,52 gramas (HACKLINGER, 1978 apud FLETCHER; ROSSING, 2012). Não se faz menção, como geralmente ocorre quando a surdina é citada, de seu material de confecção, nem tampouco, da natureza de seu acoplamento ao cavalete (área de contato). Tampouco é definido o impacto de tal alteração na ressonância principal do cavalete na intensidade do som emitido. Ainda que se considere que o deslocamento da ressonância do cavalete para frequências mais baixas favoreça a ressonância de notas de frequência igualmente mais baixa, a relação entre causa e efeito, no caso, comporta muitas variantes, como indicado pelas observações da pesquisa: se nas médias aferidas o Dó#4 sofreu o aumento de intensidade descrito, por outro lado, suas notas vizinhas, Dó4 e Ré4, não registraram aumento de intensidade em suas médias; mesmo levando-se em consideração já haver um pico de intensidade no Dó#4, na condição sem surdina, na média dos instrumentos analisados, e se conceba que a surdina dois apenas tenha reforçado a resposta acústica dessa nota nos mesmos, por que, então, o E4, que não apresentou contorno de destaque na curva sem surdina, sofreu reforço em sua intensidade sonora? Por que, tendo pouco menos de 6 gramas, não

⁷⁴ Vide quadros 3 e 4, p. 120.

⁷⁵“Afim de escurecer a sonoridade de um instrumento de cordas os músicos colocam uma surdina no cavalete. O principal efeito dessa massa adicional é deslocar a ressonância principal para uma frequência mais baixa” (tradução nossa)

aumentou a intensidade do G#3, enquanto a surdina um (com apenas 1,85 gramas, menos de um terço do peso da dois) o fez? Por que, eventualmente, atenuou o som quase tanto, e até mais em algumas notas isoladas da amostragem, do que a surdina 3, que é quase oito vezes mais pesada do que ela? Em relação às outras surdinas, por que a um aumentou a intensidade do Si4, nota que já se afasta da região grave do instrumento, enquanto a dois, nessa altura, gerou uma forte atenuação? Diante da relação massa/deslocamento de ressonância principal do cavalete, apresentada por Hacklinger (1978), o que se poderia esperar de uma surdina de quase 45 gramas, como a três? Por que seu efeito de atenuação foi mais regular ao longo da extensão analisada do que o da surdina dois?

Tais considerações sugerem que o material utilizado na fabricação da surdina pode ter uma importância tão grande no efeito produzido pelo dispositivo, quanto a própria massa. Ao que tudo indica, diferentes combinações dos parâmetros físicos levam, a atuações muito distintas, em termos de atenuação, ao longo da extensão do instrumento.

Ao se observar que as cinco médias de notas mais fortes gravadas com a surdina dois eram, todas, Dó#4, a ideia, já mencionada, de uma interação bastante específica com algum elemento acústico do instrumento, por exemplo, a conhecida frequência do modo A_0 (ressonância principal do ar), parece fazer sentido: a frequência do Dó#4 (277,2 Hz) coincide com a do modo A_0 (270/280 Hz). Na mesma linha, o fato de ser feita de madeira, ainda que de características de densidade bem distintas das utilizada nas partes ressonantes principais do instrumento, pode ser responsável por algum acoplamento acústico específico, onde não se pode descartar a hipótese que a própria surdina em si gere algum modo de ressonância próprio.

Quanto à alteração no timbre dos instrumentos, sob o efeito das diferentes surdinas, percebe-se uma igual complexidade de ação dos dispositivos, diante dos resultados obtidos. A análise dos espectros demonstrou que mesmo quando não há mudança significativa na intensidade do som nas diferentes condições de estudo analisadas, os espectros harmônicos com uso das surdinas sofreram, sempre, alterações em cada condição de estudo, o que corrobora a percepção empírica de alteração da intensidade sonora do instrumento. Delimitar características físicas específicas que determinem a alteração espectral típica de cada dispositivo, porém, é tarefa tão complexa quanto a relacionada à investigação acerca da alteração na intensidade.

Nesse sentido, porém, a LTAS forneceu uma ferramenta de análise robusta. Como pode ser observado no gráfico 5.43, e descrito na correspondente seção, o uso das surdinas, não obstante as particularidades de cada uma, apresentou uma faixa de alteração na leitura LTAS que revelou contornos similares de ação em determinadas faixas de frequência. A coincidência dos contornos das curvas, com intensidades variadas de acordo com cada um dos dispositivos, notadamente, na faixa dos 2600 Hz (maior alteração na curva das surdinas um e dois e segunda maior da três) relacionada à proximidade da frequência do Bridge Hill (3000 Hz), corrobora os estudos já citados de forte influência das surdinas na frequência dessa ressonância característica. Dos 1400 aos 6400 Hz, as LTAS de todos os dispositivos registraram, em maior ou menor intensidade, uma grande perda de energia do espectro harmônico, o que implica numa boa caracterização do efeito das surdinas em geral, sem, porém, diferenciá-las. Buscar uma associação desse efeito geral com particularidades observadas no restante das curvas pode fornecer uma caracterização mais específica: a surdina um apresentou pequenos episódios de aumento da energia espectral nas faixas dos 800/1000 Hz e em torno dos 10000 Hz; a dois, um pico além da leitura sem surdina nos primeiros 400 Hz e depois uma grande faixa, dos 6400 aos 9200 Hz, com significativo aumento da energia; e, finalmente, a surdina três, que, em uma única faixa de frequências, dos 12400 aos 13600 Hz, aumenta a energia registrada na curva LTAS acima das leituras das outras duas surdinas, todas com valores acima da condição sem surdina nesse ponto. Aprofundar a pesquisa, no sentido de relacionar, eventualmente, tais características fornecidas pela análise LTAS com a percepção das alterações no timbre dos instrumentos, provocadas por cada um dos dispositivos, pode permitir uma melhor caracterização de tais mudanças: a surdina um, de efeito bem discreto, tende a “escurecer” o som, criando uma sonoridade mais “fechada”, como é comumente descrita essa sonoridade pelos instrumentistas; a surdina dois, de efeito muito marcante, além de gerar a sonoridade “mais escura”, como a um, imprime um forte tom descrito, comumente, como “nasalado” à sonoridade dos instrumentos; e, a surdina três, sob a forte atenuação imposta ao som dos instrumentos, reveste o mesmo, de nuances “nasaladas”, também, além de um caráter “metálico” bastante particular⁷⁶. A

⁷⁶ Tais definições de alteração no timbre fazem parte do jargão dos instrumentistas de cordas, não sendo, entretanto, fruto de nenhuma sistematização objetiva de termos associados à descrição do timbre, como já observado em outros pontos do trabalho. Tais caracterizações são usadas aqui, portanto, a título de ilustração, sem objetividade maior do que a dos músicos que as empregam.

grande questão é desenvolver meios objetivos para associar as alterações da LTAS, por exemplo, a tais descrições subjetivas: a sonoridade “nasalada” estará associada ao aumento da energia espectral descrito na LTAS da surdina dois? E o caráter “metálico” provocado pelo uso da surdina três, está associado ao único ponto da curva LTAS em que a energia espectral é maior do que na leitura sem surdina?

Para avançar no entendimento do funcionamento das surdinas, portanto, futuras pesquisas deverão debruçar-se sobre o desenvolvimento de metodologias que busquem analisar, isoladamente, cada um dos três aspectos físicos citados que, aparentemente, respondem por sua resposta. São possibilidades nesse sentido, analisar surdinas de um mesmo tipo, feitas com um mesmo material e de igual área de contato com o cavalete, que variem, porém, o peso; ou surdinas de um mesmo tipo e peso que permitam, porém, diferentes acoplamentos com o cavalete, variando assim, a área e local de contato com o mesmo; e, finalmente, surdinas de formato e massa similares, porém, feitas de materiais diferentes, que apresentem níveis de rigidez e densidade variados.

Outra possibilidade para o desenvolvimento de futuras pesquisas é o uso de síntese por modelagem física, a partir de resultados obtidos pelas leituras LTAS, por exemplo, que possibilitem a simulação virtual de diferentes efeitos de filtro, buscando a definição de características específicas de atuação dos diferentes tipos de surdinas.

Do ponto de vista prático, da performance musical, os resultados obtidos pela pesquisa fornecem uma série de parâmetros objetivos que demonstram muito claramente a necessidade de maiores considerações para se obter os melhores resultados artísticos com o uso das surdinas.

Desde a escolha de uma surdina de estudo (item quase obrigatório entre os acessórios de um instrumentista de cordas hoje), que leve em consideração o equilíbrio entre uma grande atenuação e a preservação mínima de nuances de sonoridade do instrumento, até à escolha consciente por determinado efeito de surdina para sua performance, um maior cuidado em relação à questão é um fator relevante para o resultado final da performance violinística que dependa de surdinas.

Como já foi observado anteriormente, porém, surpreendentemente, não há maiores considerações, pelas orquestras e conjuntos de câmara, quanto à escolha das surdinas a serem utilizadas pelas cordas. À exceção de grupos especializados em Performance Historicamente Informada (PHI), que, geralmente, são mais atentos aos

detalhes de reconstituição da instrumentação, ou a performances de música contemporânea, onde é comum explorar-se novos recursos sonoros, a praxe comum, no meio orquestral profissional, é cada instrumentista escolher sua surdina de maneira isolada. Sem nenhum tipo de discussão coletiva a respeito da definição de um determinado modelo, mesmo, sendo evidente a grande variedade de efeitos produzidos pelos diferentes tipos de dispositivos disponíveis no mercado. A principal preocupação da maioria dos instrumentistas refere-se à praticidade de uso, ou seja, à facilidade de tirar e colocar a surdina em posição de uso (preocupação presente também nos manuais de orquestração). Tal falta de critério, entretanto, pode ter implicações práticas bastante concretas em relação ao impacto que a atenuação gerada pelas surdinas pode ter no equilíbrio dos naipes de cordas.



Figura 6.1 – excerto dos primeiros e segundos violinos (do 16º ao 20º compasso) do “Prélude de l’après-midi d’un faune”, de Claude Debussy, composição orquestral de 1894. (fonte: Petrucci Music Library - <http://imslp.org/>)

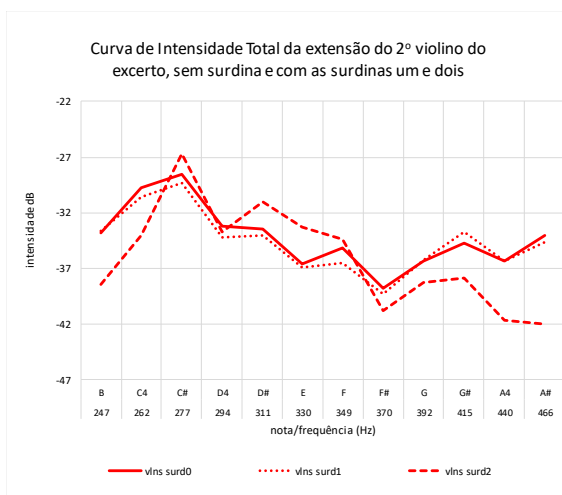


Gráfico 6.1 – Curva de Intensidade Total da extensão do 2º violino, do excerto da figura 6.1, sem surdina e com as surdinas um e dois.

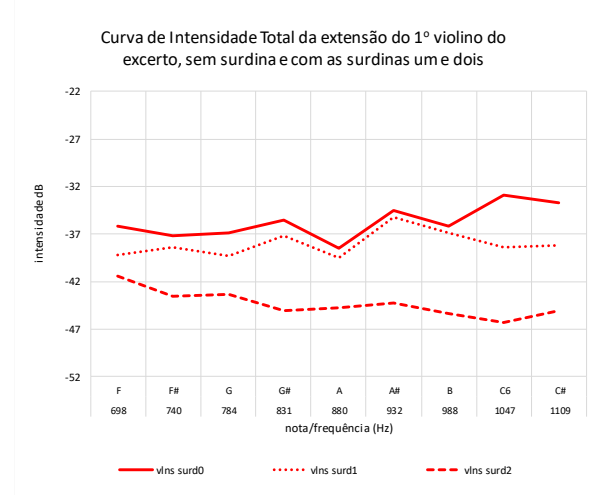


Gráfico 6.2 – Curva de Intensidade Total da extensão do 1º violino, do excerto da figura 6.1, sem surdina e com as surdinas um e dois.

Como exemplo de uma situação concreta em que a falta de análise e padronização dos efeitos das surdinas podem dificultar bastante o equilíbrio das cordas orquestrais, considere-se a figura 6.1, que mostra os primeiros e segundos violinos de um excerto (do 16º ao 20º compasso) do “*Prélude de l’après-midi d’un faune*”, de Claude Debussy, composição orquestral de 1894, no qual as cordas estão utilizando surdinas (desde o 5º compasso, onde há a indicação *sourdine*). Pode-se observar no excerto uma distância entre as alturas das duas vozes típica dos naipes de violinos em orquestras, de pouco mais de uma oitava, considerando-se a voz inferior dos segundos violinos com a inferior dos primeiros, e a superior dos segundos com a superior dos primeiros. Os gráficos 6.1 e 6.2, apresentam a extensão utilizada no excerto pelos segundos violinos e primeiros violinos, respectivamente, com as curvas de intensidade total produzidas pela pesquisa, sem surdina e com o uso das surdinas um e dois.

Percebe-se que as duas surdinas em questão produzem atenuações muito diferentes nas duas diferentes extensões utilizadas pelos dois naipes. Ao passo que a surdina um mantém, aproximadamente, uma atenuação similar para as duas vozes, com os primeiros violinos perdendo um pouco mais de intensidade, a surdina dois acarreta uma grande perda de intensidade na voz dos primeiros violinos, enquanto na dos segundos, na parte central da extensão dos mesmos, ela aumenta a intensidade consideravelmente. Supondo que haja predominância do uso de surdinas com propriedades similares às da surdina dois nas cordas de uma determinada orquestra, o equilíbrio da intensidade dos dois naipes seria prejudicado, sobretudo, se considerarmos que, geralmente, o primeiro violino deve estar num plano superior de dinâmica. Situação similar num contexto de música de câmara, em um quarteto de cordas, por exemplo, poderia se tornar ainda mais problemática para o primeiro violino.

Em relação à alteração do timbre dos instrumentos de cordas com o uso das surdinas, uma discussão entre os instrumentistas e regentes das orquestras, que considerasse a gama variada de efeitos possíveis pelos diferentes tipos de surdinas disponíveis no mercado, levando em consideração fatores como estilo de época, instrumentação e sala de concerto, certamente, traria benefícios estéticos à sonoridade da orquestra como um todo. A simples padronização pelos músicos de determinado tipo de surdina, ou a possibilidade de se adotar diferentes surdinas para diferentes

repertórios, enriqueceria a palheta orquestral substancialmente ao possibilitar um outro patamar de consciência e controle da sonoridade dos instrumentos de cordas.

Espera-se que a presente pesquisa tenha contribuído para trazer à tona a questão da necessidade de maior critério para o uso das surdinas, apresentando uma abordagem objetiva para lidar com a questão, e que, futuramente, tal consciência enriqueça a sonoridade dos instrumentos de corda, tornando realidade a imagem evocada por Kenneth Sarch:

I can only imagine how wonderful the aggregate tone of a string section or string ensemble would sound if each player used the same mute to obtain the same quality and volume of sound!⁷⁷ (SARCH, 2017, p. 29)

⁷⁷ “Eu apenas posso imaginar o quão maravilhosa seria a sonoridade conjunta de um naipe de cordas ou conjunto de cordas se cada instrumentista usasse a mesma surdina para obter uma mesma sonoridade e volume de som!” (tradução nossa)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

AHRENS, Christian. Metallic Mutes Used in the Eighteenth Century. **The Galpin Society Journal**, v. 60, p. 220-119, 2007.

ANGYALOSSY, Veronica; AMANO, Erika; ALVES, E. Segala. Madeiras utilizadas na fabricação de arcos para instrumentos de corda: aspectos anatômicos. **Acta Botanica Brasílica**, v. 19, n. 4, p. 819-834, 2005.

ASKENFELT, Anders. Observations on the violin bow and the interaction with the string. **STL-QPSR**, v. 36, n. 2-3, p. 107-118, 1995.

BAILLOT, Pierre. **L'art du violon: nouvelle méthode dédiée à ses élèves**. imprimerie du conservatoire de musique, 1834. Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France, disponível em:
<<https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k11638868/f235.item.r=baillot%20l'art%20du%20violon>> Acesso em: 16/05/2019

BERLIOZ, Hector. **Grand traité d'instrumentation et d'orchestration modernes**. Schonenberger, 1844. Disponível em:
<ks4.imslp.info/files/imglnks/usimg/8/89/IMSLP88917-PMLP28373-Traite1843ed1c.pdf> Acesso em: 16/05/2019

BOSÍCIO, 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.

BOYDEN, David Dodge; DODGE, David. **The History of Violin Playing from its Origins to 1761 and its Relationship to the Violin and Violin Music**. London: Oxford University Press, 1965.

BRITO, Armando A.; BRITO, Andrea Suzana de Sousa. I-O Violino: A sublimação da madeira. **Ciência & Tecnologia dos Materiais**, v. 21, n. 3-4, p. 48-57, 2009.

CAMPBELL, Murray; GREATED, Clive. **The musician's guide to acoustics**. OUP Oxford, 1987.

CASANOVA, Vitor. O Violino - Das origens à forma actual. **Educação e Tecnologia - Revista do Instituto Tecnológico da Guarda**, 1987.

CAUSSÉ, R. et al. Study of violin bow quality. In: **International Symposium on Musical Acoustics, Perugia, Italy (September 10-14 2001)**. 2001. p. 1-6.

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

COOLEY, James W.; TUKEY, John W. An algorithm for the machine calculation of complex Fourier series. **Mathematics of computation**, v. 19, n. 90, p. 297-301, 1965.

COSTA, Ricardo Alexandre Silva da et al. **Reorganização espectral de sinais de fala na banda de [0, 2] kHz**. 2009. 90 f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores Major Telecomunicações)-Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2002.

DAMAS, Carlos Alexandre Mourão de Carvalho. **Violino e tecnologia: origem e evolução tecnológica entre os séculos XV e XXI**. 2012. 89 f. Dissertação (Mestrado em Artes Musicais – Estudos em Música e Tecnologias)-Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2012.

DAVIS, Gary; DAVIS, Gary D. **The sound reinforcement handbook**. Hal Leonard Corporation, 1989.

DE LA ROCHE, M. et al. **Encyclopédie Méthodique. Arts Et Métiers Mécaniques. Tome quatrième**. Panckoucke, 1785. Disponível em: <<https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k5839385p/f40.item.r=sourdine%20>> Acesso em: 18/05/2018

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.

DOURADO, Henrique Autran. **O arco dos instrumentos de cordas**. Irmãos Vitale, 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.

EVANGELISTA, Marcus Vinicius da Silva; GARCIA, Maurício Freire. Análise espectral aplicada a um estudo comparativo do efeito de diferentes surdinas no violino. In: **2º Nas Nuvens... Congresso de Música, 2016: Anais**. 2016.

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.

FETIS, Francois Joseph; STRADIVARI, Antonio. **Notice of Anthony Stradivari, preceded by historical and critical reseaches on the origin and transformations of bow instruments, and followed by a theoretical analysis of the bow, and remarks on Francis Tourte, tr. by J. Bishop**. 1864. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=1S8DAAAQAAJ&oi=fnd&pg=PR5&dq=tourte+bow&ots=Cj7cRs2o-E&sig=zPhmyyjrL7fOtxx4Vbzf-2Q5NXE#v=onepage&q=tourte%20bow&f=false>> Acesso em: 28/05/2018

FLESCH, Carl. **The Art of Violin Playing...: Artistic realization and instruction.** C. Fischer, Incorporated, 1930.

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

FOMIN, Igor Mottinha et al. The violin bow. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 40, n. 4, 2018.

GABRIELSSON, A.; JANSSON, E. V. long-time-average-spectra of twentytwo quality-rated violins. 1976.

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

GOUGH, Cohn. Science and the Stradivarius. **Physics World**, v. 13, n. 4, p. 27, 2000.

GOUGH, Colin. The violin bow: Taper, camber and flexibility. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 130, n. 6, p. 4105-4116, 2011.

_____. Violin acoustics. **Acoust. Today**, v. 12, n. 2, p. 22-30, 2016.

GUETTLER, Knut. Bows, strings, and bowing. In: **The science of string instruments.** Springer, New York, NY, 2010. p. 279-299.

GUILLOUX, Yves. **Le Monde de la Musique 197**, P. 50, 1996.

HARNONCOURT, Nikolaus. **O diálogo musical: Monteverdi, Bach e Mozart.** Trad. Luiz Paulo Sampaio. Rio de Janeiro, Jorge Zahar Editora, 1993.

HELMHOLTZ, H. L. F. von. On the Sensations of Tone as a Psychological Basis for the Theory of Music. **Nova Iorque, NY: Dover Publications. 2a edição**, 1862-1954.

HOUAISS, Antônio; VILLAR, Mauro de Salles. Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa [versão eletrônica]. **Elaborado no Instituto Antônio Houaiss de Lexicografia e Banco de Dados da Língua Portuguesa S/C Ltda. Rio de Janeiro: Editora Objetiva**, 2009.

HUTCHINS, Carleen Maley. The physics of violins. **Scientific American**, v. 207, n. 5, p. 78-93, 1962.

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.

_____. Admittance measurements of 25 high quality violins. **Acta Acustica united with Acustica**, v. 83, n. 2, p. 337-341, 1997.

KENNAN, Kent Wheeler; GRANTHAM, Donald. **The technique of orchestration**. Prentice Hall, 2002.

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.

LAZZARINI, Victor EP. Elementos de acústica. **apostila do Departamento de Artes da UEL, Londrina**, 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.

_____; PAULA, Hugo Bastos de. Timbre de um instrumento musical: caracterização e representação. **Per Musi-Revista Acadêmica de Música**, p. 57-81, 2006.

MAGNANI, Sérgio. **Comunicação e expressão na Linguagem da Música**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 1989.

MERSENNE, Marin. **Harmonie universelle: contenant la théorie et la pratique de la musique** (Paris, 1636). Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France, disponível em: <<https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k123738q/f3.image>> Acesso em: 01/07/2018.

MEYER, Jürgen. **Acoustics and the performance of music: Manual for acousticians, audio engineers, musicians, architects and musical instrument makers**. Springer Science & Business Media, 2009.

MIMO CONSORTIUM et al. **Revision of the Hornbostel-Sachs classification of musical instruments by the MIMO Consortium**, disponível em: <<http://network.icom.museum/cimcim/resources/classification-of-musical-instruments>, 2011> Acesso em 16/06/2018.

MOZART, Leopold. **Versuch einer gründlichen Violinschule**. Lotter, 1756.

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

PINTO, Tiago de Oliveira. Som e música. Questões de uma antropologia sonora. **revista de Antropologia**, v. 44, n. 1, p. 222-286, 2001.

PISTON, Walter. **Orchestration**. W. W. Norton & Company. 1955.

REBELLO, Ana Isabel Ferreira. **Semelhanças e Disparidades no Ensino e na Execução da Viola e do Violino**. 2011. 137 f. Dissertação (Mestrado em Artes, Área Musicologia)-Escola de Comunicação e Artes, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

RICHELET, Pierre. **Dictionnaire françois contenant les mots et les choses**. Genebra, Chez Jean Herman Widerhold, 1680. Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France, disponível em: <<https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k509323/f979.item>> Acesso em: 29/06/2018

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

ROUSSEAU, Jean-Jacques. **Dictionnaire de musique**. Chez la veuve Duchesne, 1768. Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France, disponível em: <<https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k850406b.image>> Acesso em: 15/11/2018

SABINO, Fernando. **O encontro marcado**. Rio de Janeiro: Record, 1986.

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

SAUNDERS, F. A. The mechanical action of violins. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 9, n. 2, p. 81-98, 1937.

SCHOONDERWALDT, Erwin; GUETTLER, Knut; ASKENFELT, Anders. Effect of the width of the bow hair on the violin string spectrum. In: **Proceedings of the Stockholm Music Acoustics Conference, SMAC**. 2003.

SILVA, Lilian Maria Pereira da et al. **Extratos do tratado sobre os princípios fundamentais para tocar violino de Leopold Mozart: tradução e análise**. 2014. 174 f. Dissertação (Mestrado em Música, área de concentração em Musicologia, linha de pesquisa Estética)-Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2014.

TEMPELAARS, Stan. **Signal processing, speech and music**. Routledge, 2014.

YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. **Física III: eletromagnetismo**. São Paulo: Person Education do Brasil, 2009.

APÊNDICE A – PROTOCOLO DE EXECUÇÃO DAS AMOSTRAS



Universidade Federal de Minas Gerais
Escola de Música
Programa de Pós-Graduação em Música

Pesquisa de Mestrado: Análise espectral aplicada a um estudo comparativo do efeito de diferentes surdinas no violino

Orientador: Maurício Freire Garcia

Co-orientador: Davi Alves Mota

Mestrando: Marcus Vinicius da Silva Evangelista

Protocolo para execução da amostragem de notas para a pesquisa:

Objetivo: gravar em áudio amostras da sonoridade de cada instrumento participante da pesquisa sem surdina e com cada uma das 3 surdinas que serão analisadas, executadas por cada um dos sujeitos participantes do estudo; cada um dos sujeitos deverá gravar uma amostra em cada um dos instrumentos participantes em cada uma das quatro condições (sem e com cada uma das três surdinas); cada amostra consistirá de duas sequências cromáticas de notas, tocadas como descrito no procedimento abaixo, que serão, posteriormente, editadas em um único arquivo de áudio. Ex.:

amostra 1: vl1_suj1_sd0_tk1 (violino 1, sujeito 1, sem surdina, take1);

amostra 2: vl1_suj1_sd1_tk1 (violino 1, sujeito 1, surdina 1, take1);

Procedimento para cada amostra:

- as gravações serão realizadas no laboratório do CEGeME na Escola de Música da UFMG, segundo um protocolo específico de registro de áudio (microfone utilizado, posicionamento no ambiente, equipamentos e programas definidos e seus parâmetros);
- cada instrumento a ser utilizado será afinado com auxílio de um afinador eletrônico, corda por corda, no padrão de afinação temperada, com diapasão em 440Hz para o Lá⁴; os instrumentos deverão estar com cordas com pelo menos dez dias de uso, que não poderão ser substituídas ao longo das coletas; serão feitas duas pequenas marcas com caneta na corda Sol, com aproximadamente 1,3 cm separando-as (distância pouco maior que a largura média do feixe de cerdas da crina do arco) centralizando esse espaço no

¹ Considera-se na pesquisa a numeração de oitavas adotada em língua inglesa, na qual as notas correspondentes às cordas soltas do violino são Mi⁵, Lá⁴, Ré⁴ e Sol³, sendo o Lá⁴, portanto, equivalente ao Lá³ (440Hz) da numeração de oitavas utilizada em português.



Universidade Federal de Minas Gerais
Escola de Música
Programa de Pós-Graduação em Música

meio da distância entre o fim do espelho e o cavalete, para servir de guia para o ponto de contato do arco;

- será utilizado em todas as amostras um mesmo arco; será feita uma pequena marca na vareta do mesmo no meio da extensão da crina, para maior sincronização da velocidade de deslocamento do arco com o metrônomo; antes do início da gravação de cada amostra será passada uma mesma resina em toda a extensão da crina, seis vezes, três em cada sentido, alternadamente;
- cada sujeito fará as gravações utilizando um fone de estúdio, em um dos ouvidos, por meio do qual ouvirá o metrônomo e uma trilha guia MIDI, com a sequência a ser amostrada, gravada utilizando-se a afinação temperada, para maior padronização das amostras;
- cada músico deverá tocar, para cada amostra, duas sequências cromáticas, repetindo cada uma das notas quatro vezes, **sem nenhum vibrato** (sonoridade o mais contínua possível), utilizando o arco inteiro, mantendo o **ponto de contato fixo** nos limites das marcas feitas na corda, **o mais forte possível para as condições de ponto de contato e velocidade de arco estabelecidas**, com um andamento definido por **duas pulsações por arcada**, com o metrônomo em **60 BPM** (batidas por minuto), **procurando sincronizar a passagem da marca do meio do arco com a segunda batida de metrônomo de cada nota**, de maneira a manter-se a velocidade de deslocamento do arco o mais estável possível;
- **primeira sequência:** inicia com a corda Sol solta seguindo até a oitava da mesma, continuando, sem interrupção, na próxima corda, repetindo-se o procedimento até a corda Mi, na qual deverá parar no Ré#, antes da oitava da corda solta;
- **segunda sequência:** inicia-se com a oitava da primeira corda, o Mi6, e executa-se a sequência cromática até o Si6, da mesma forma que na primeira sequência;
- a primeira sequência, portanto, vai ser gravada, **sem interrupções, nas quatro cordas, do Sol3 ao Ré#6**; a segunda sequência, do Mi6 ao Si6 abrangerá apenas o começo da região super aguda na corda Mi apenas; as sequências completas estão escritas na partitura em anexo "Amostra de Notas";
- cada músico poderá utilizar o dedilhado que considerar mais adequado, iniciando com cada corda solta e subindo até a oitava da mesma por meio da escala cromática (primeira sequência); deve-se evitar, tanto quanto possível, porém, glissandos;



Universidade Federal de Minas Gerais
Escola de Música
Programa de Pós-Graduação em Música

recomenda-se, portanto, o mínimo de mudanças de posição; funciona bem, uma única mudança para a 4ª posição;

- no início de cada uma das duas sequências haverá quatro batidas de metrônomo, para perfeita sincronização do sujeito, e a primeira nota de cada sequência (Sol3 na primeira sequência e o Mi6 na segunda) será repetida 6 vezes, e não quatro, como em todas as demais notas; essas duas repetições iniciais a mais nestas notas deverão ser utilizadas pelos sujeitos para estabilizar a sonoridade nas condições propostas (**ponto de contato fixo e pressão máxima com arco inteiro em 60 BPM**), sendo descartadas em posterior edição; farão parte da amostra, portanto, as quatro últimas repetições do Sol3 e do Mi6;

Fundamentação teórica do protocolo:

Considerou-se para a definição do presente protocolo a relação entre as três variáveis básicas na utilização do arco na execução dos instrumentos de cordas friccionadas: **velocidade do arco, pressão do arco e ponto de contato do arco com a corda**. A alteração de uma ou mais dessas variáveis implica em alteração nas características do som gerado no instrumento, tanto em relação à intensidade obtida, quanto em relação ao timbre.

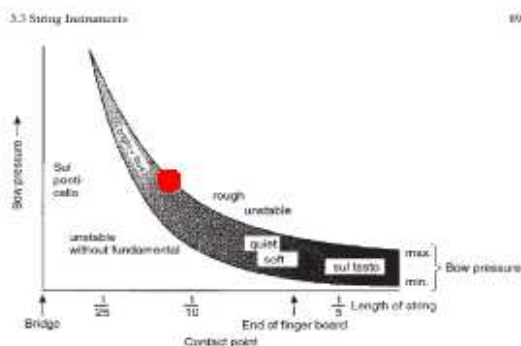


Figura 1 – Diagrama de Scheileng: relação entre a pressão do arco e o ponto de contato com a corda para uma velocidade de deslocamento constante. Como se pode observar, tocando-se próximo ao cavalete, por exemplo, é necessária maior pressão do arco, e se obtém um som mais brilhante. O ponto vermelho representa, aproximadamente, o ponto de contato que será adotado nas amostras.

Tendo-se em mente isto, o presente protocolo fixou duas das variáveis: o ponto de contato (definido pelas marcas em uma das cordas, pouco maior que a largura da crina do



Universidade Federal de Minas Gerais
Escola de Música
Programa de Pós-Graduação em Música

arco, de maneira a possibilitar um pequeno ajuste ao se mudar de corda, **delimitando uma região média entre o início do espelho e o cavalete**) e a velocidade do arco (fixada pela obrigatoriedade de utilizar-se rigorosamente toda a extensão do arco em cada nota, seguindo-se o metrônomo em 60 BPM); quanto à terceira variável, a pressão exercida com o arco sobre a corda, esta estará condicionada pelos limites impostos pelas outras duas, a partir da instrução dada aos sujeitos de **tocar o mais forte possível, dentro das condições estabelecidas**. Como foi definido por Schelleng em estudo de 1974, para uma dada velocidade de arco, existe um limite de pressão mínima e máxima suportada em um dado ponto de contato (fig. 1);

Estudo piloto conduzido com o presente protocolo, tendo coberto várias amostragens, demonstrou ser ele eficiente em normatizar a sonoridade das amostras, aproximando o resultado de cada sujeito da média comum de todos os participantes de maneira significativa (fig.2).

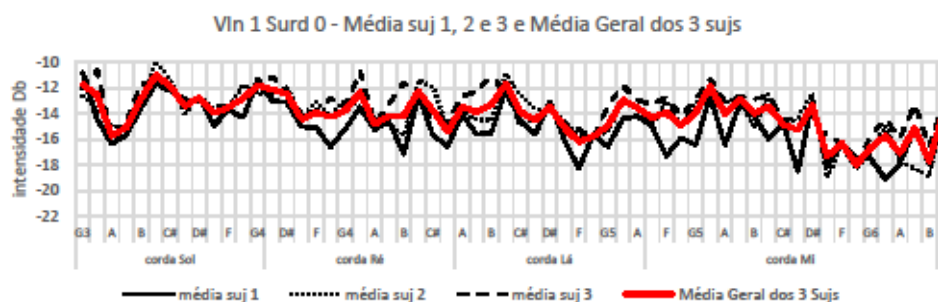


Figura 2- gráfico de teste de amostragem com 3 sujeitos.

Para o perfeito funcionamento da amostragem é necessário, portanto, máxima atenção dos sujeitos participantes em relação a seguirem as diretrizes básicas: **utilizar toda a extensão do arco em sincronia com o metrônomo, mantendo o ponto de contato estabelecido e tocar o mais forte possível, nessas condições!**

Em nome de todos os envolvidos na pesquisa, agradecemos desde já a colaboração voluntária de todos os sujeitos participantes!

Marcus Vinicius

APÊNDICE B – GRÁFICOS DE RESULTADOS DE CADA VIOLINO

Nesse apêndice são apresentados gráficos dos resultados de cada instrumento analisado na pesquisa separadamente. Estão organizados numa mesma sequência, com oito gráficos cada uma, para cada instrumento.

Os quatro primeiros mostram os registros das curvas de intensidade por corda dos três sujeitos e as médias entre os mesmos em cada uma das quatro condições de estudo separadamente.

O quinto gráfico na sequência mostra os resultados das médias das curvas de intensidade por corda dos três sujeitos, nas quatro condições de estudo, em um mesmo instrumento.

Em seguida é apresentado, no sexto gráfico, a curva de intensidade total do instrumento, contendo as médias dos três sujeitos para cada uma das condições de estudo, em um mesmo instrumento.

O sétimo gráfico apresenta as leituras de LTAS do agrupamento dos três sujeitos para cada uma das condições de estudo.

E, finalmente, o oitavo e último gráfico de cada instrumento, com a intensidade média do mesmo, nas quatro condições de estudo, por corda e da média total do instrumento.

Gráficos vln1

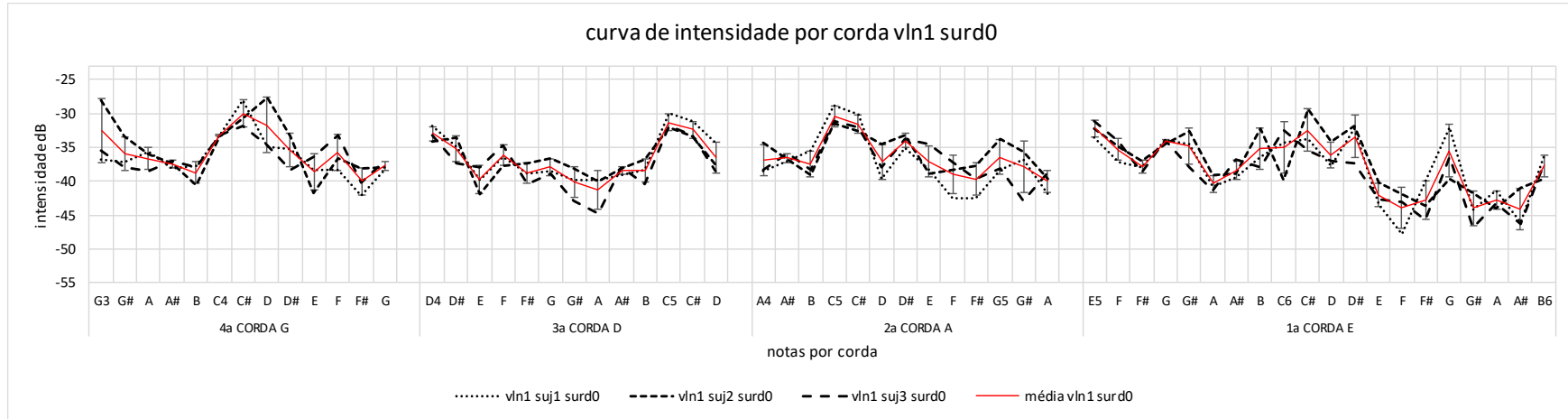


Gráfico apII.1

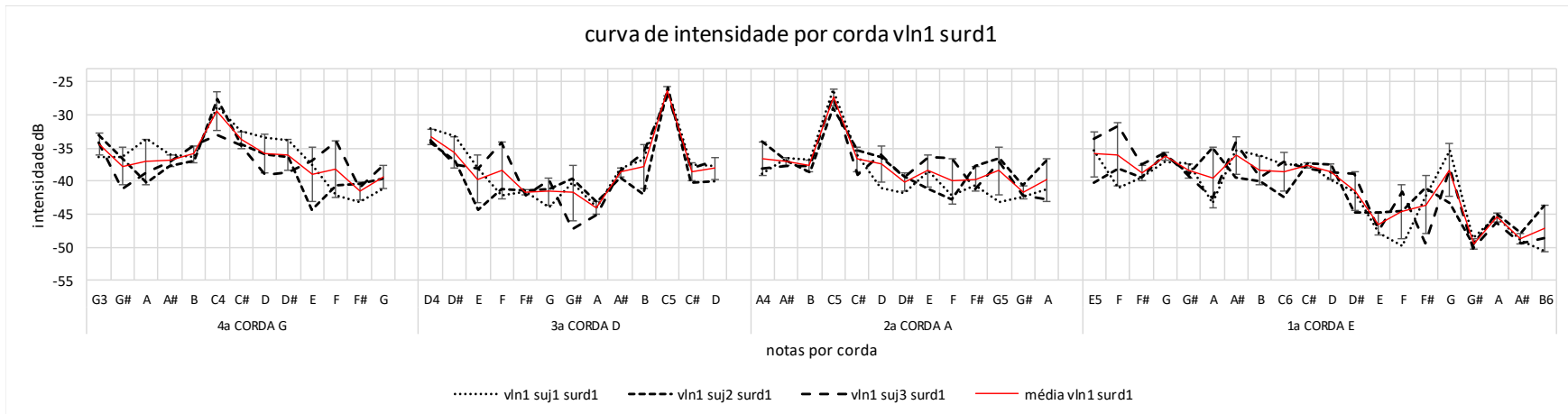


Gráfico apII.2

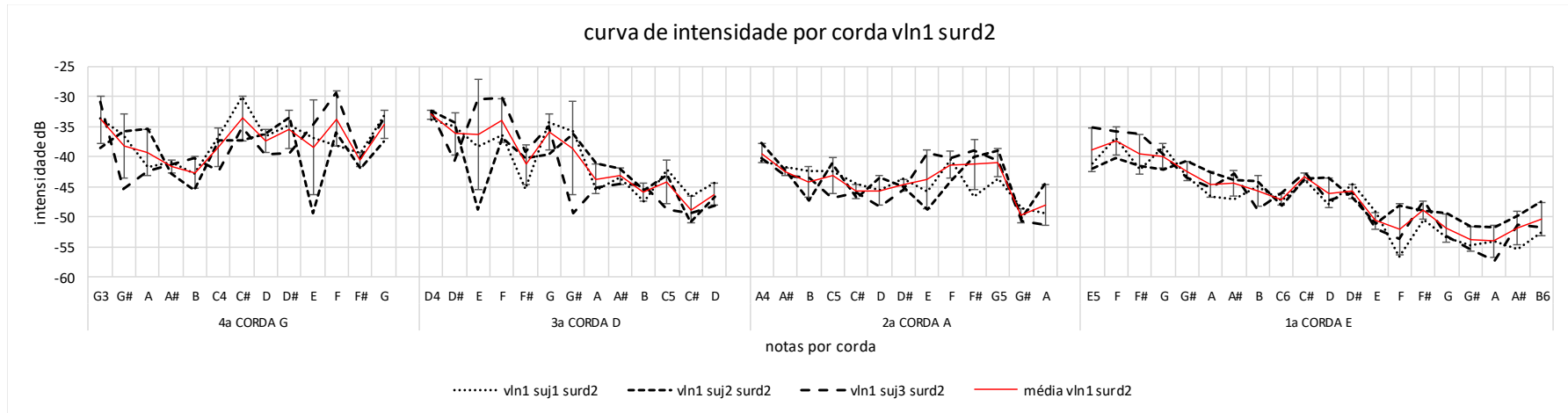


Gráfico apII.3

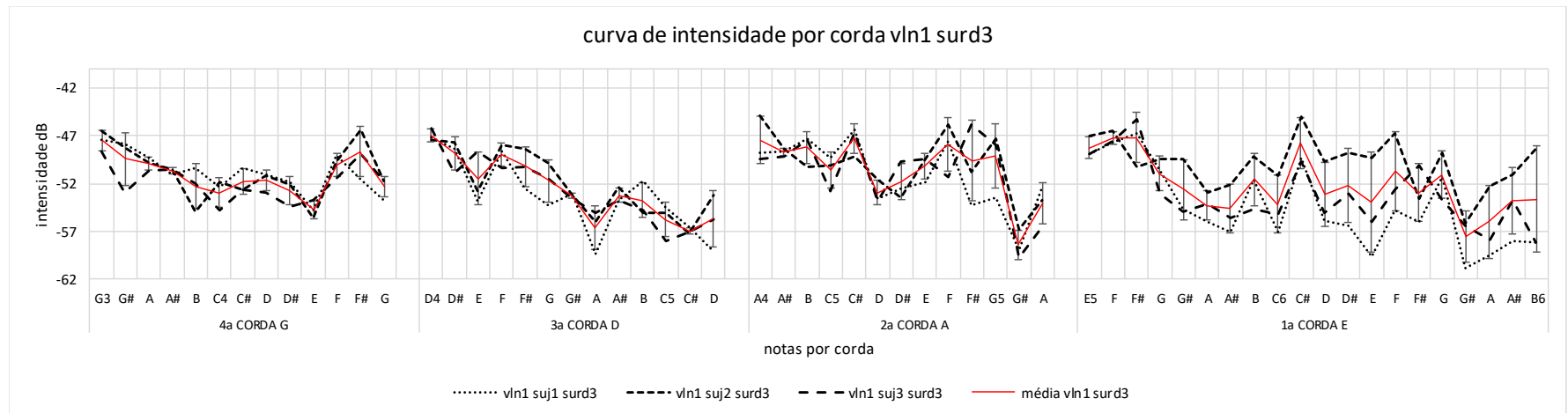


Gráfico apII.4

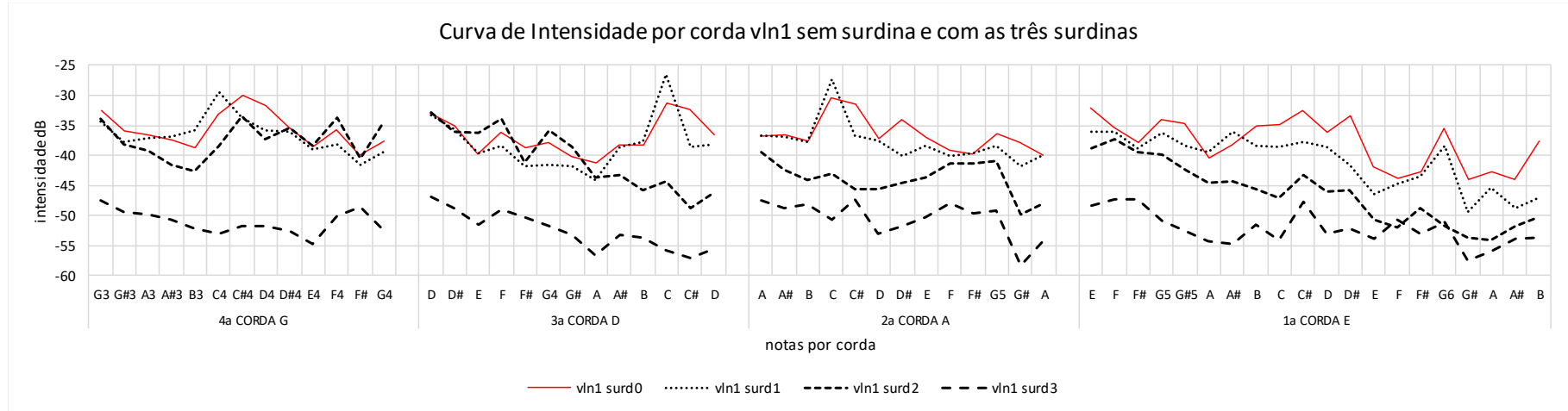


Gráfico apII.5

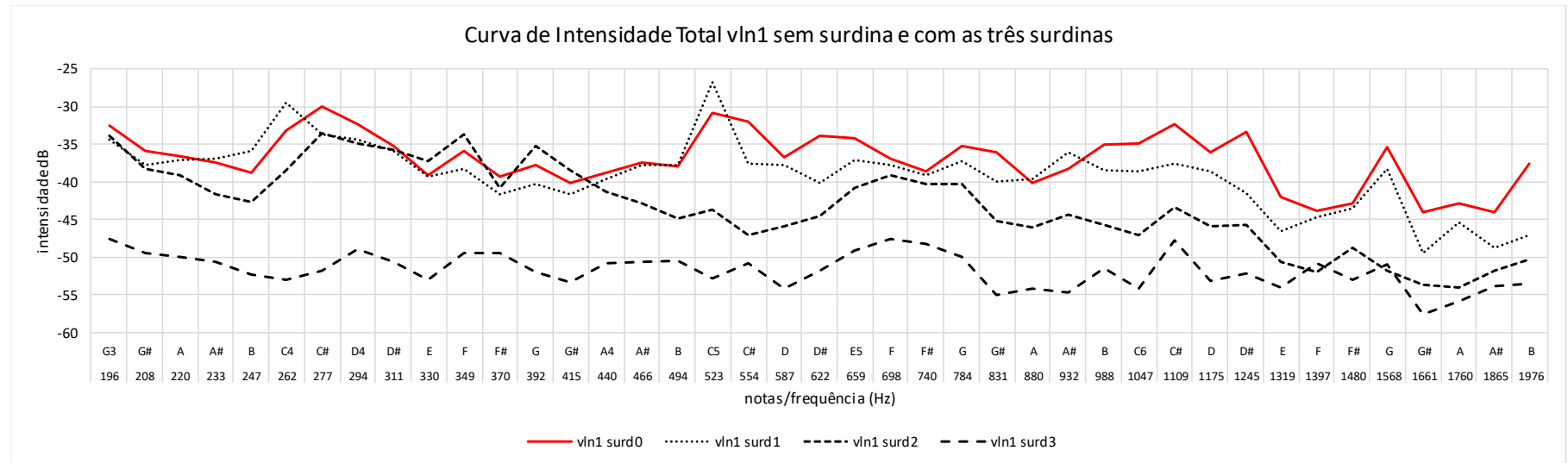


Gráfico apII.6

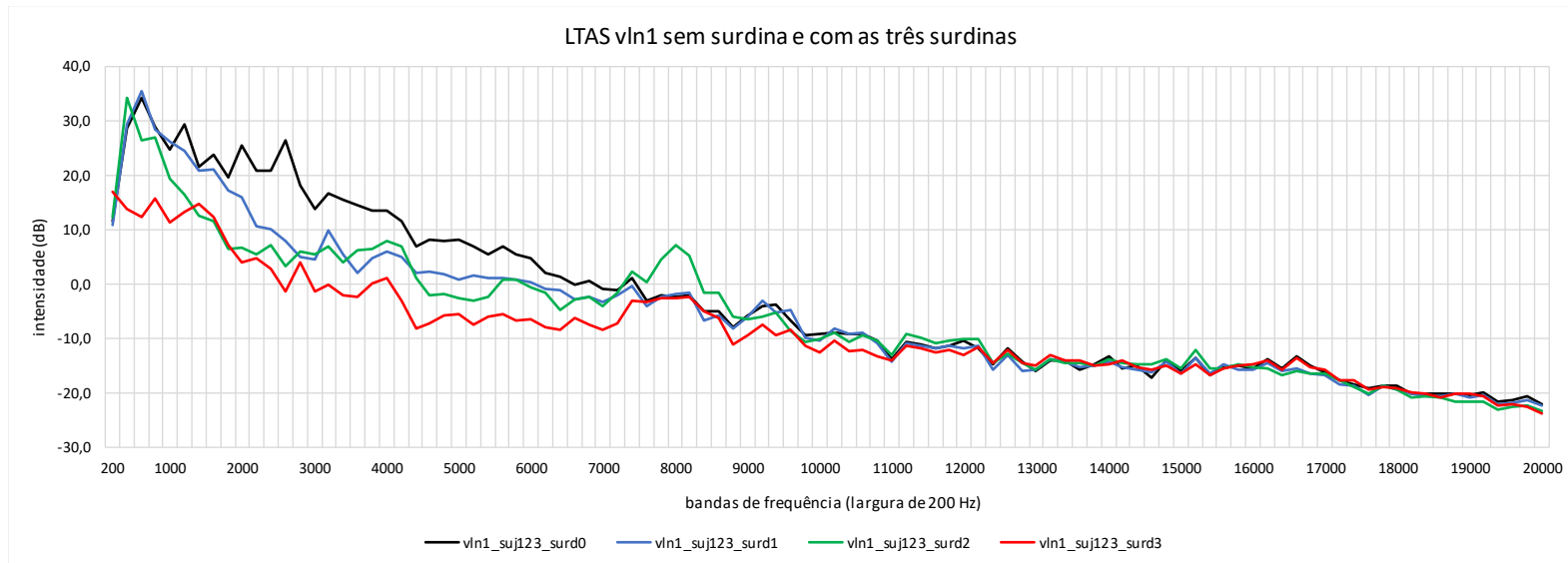


Gráfico apII.7

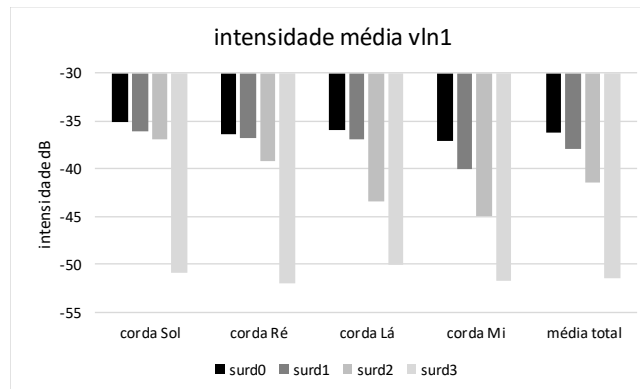


Gráfico apII.8

Gráficos vln2

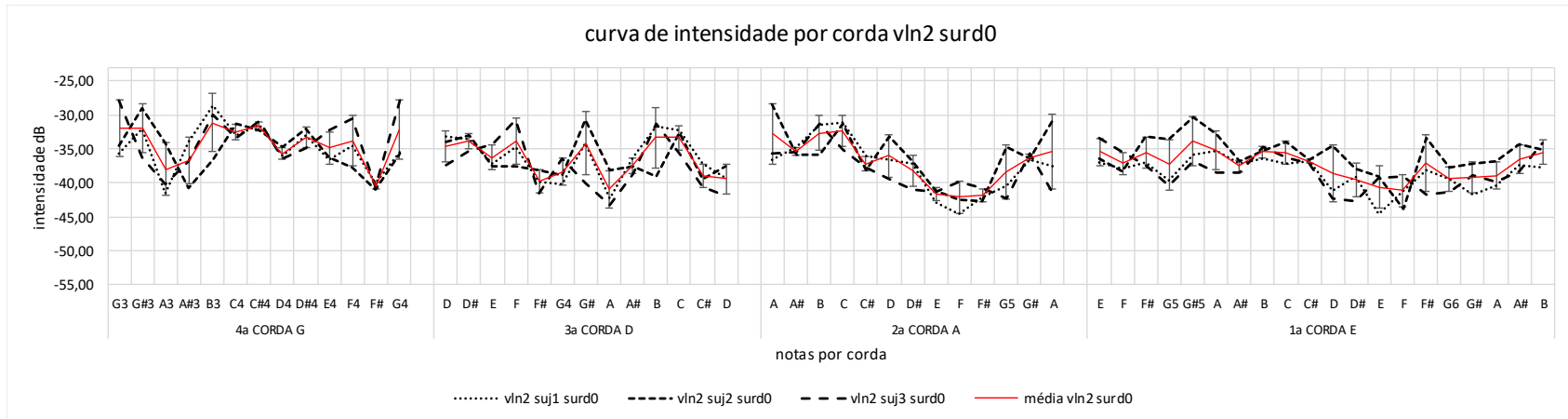


Gráfico apII.9

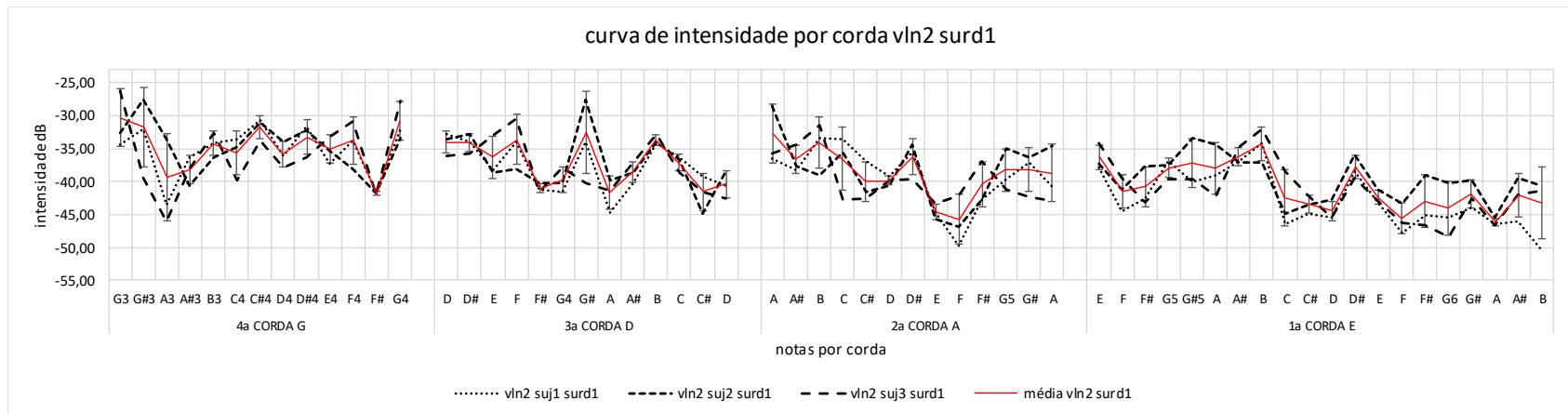


Gráfico apII.10

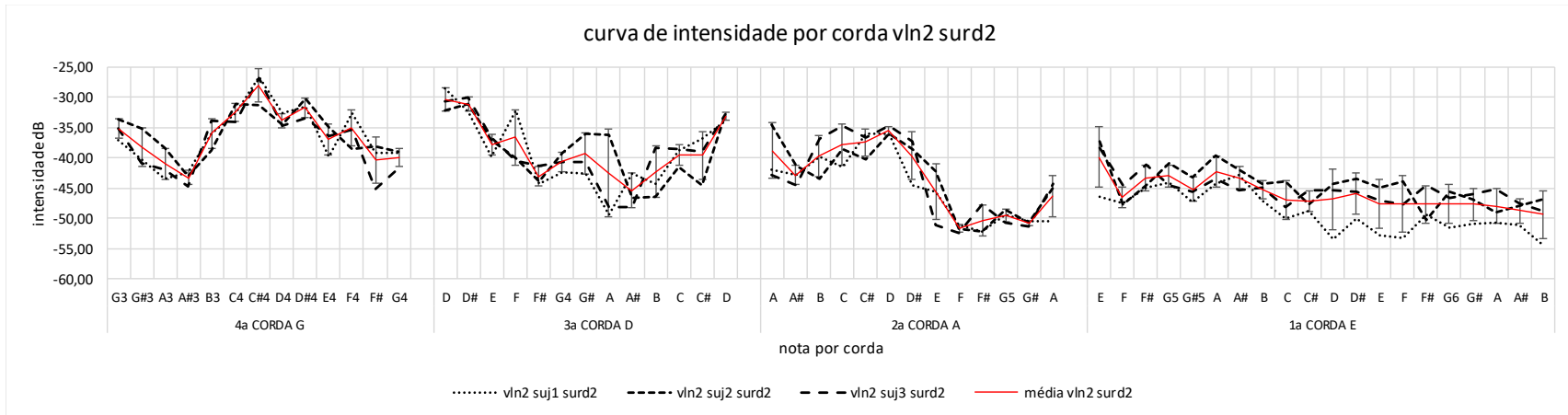


Gráfico apII.11

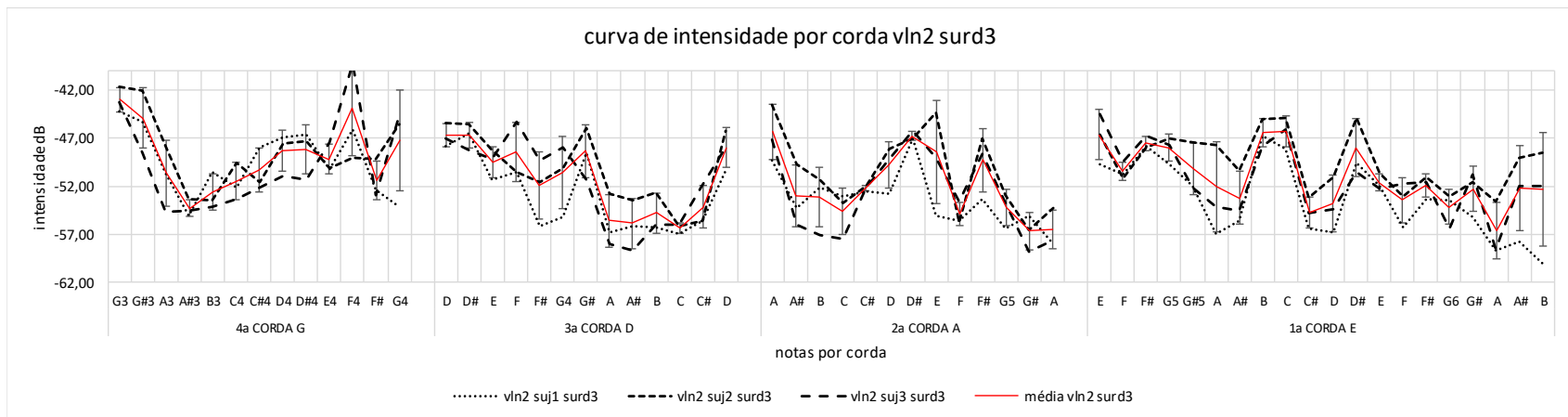


Gráfico apII.12

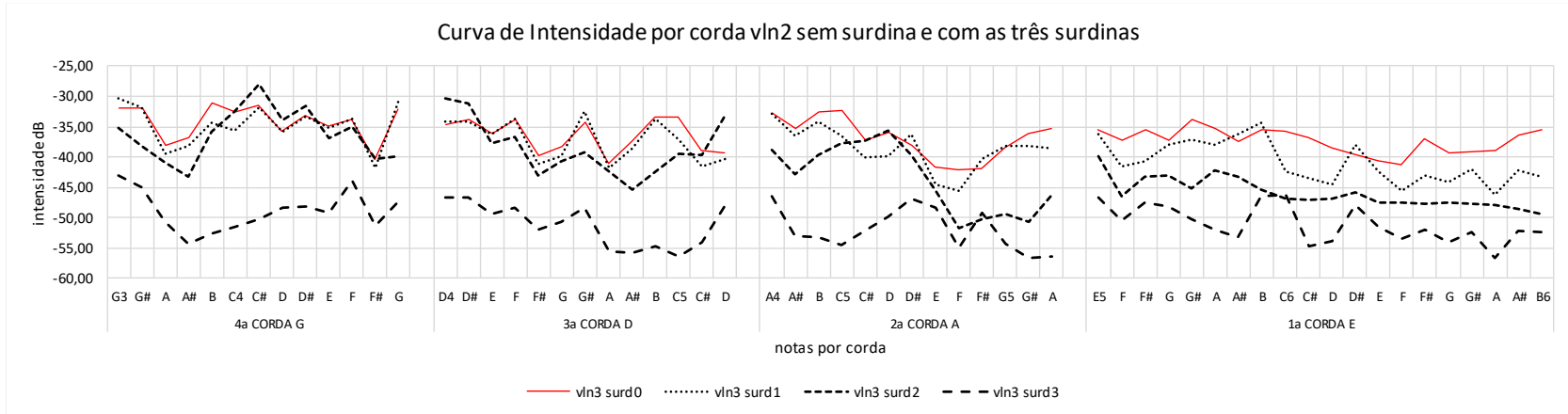


Gráfico apII.13

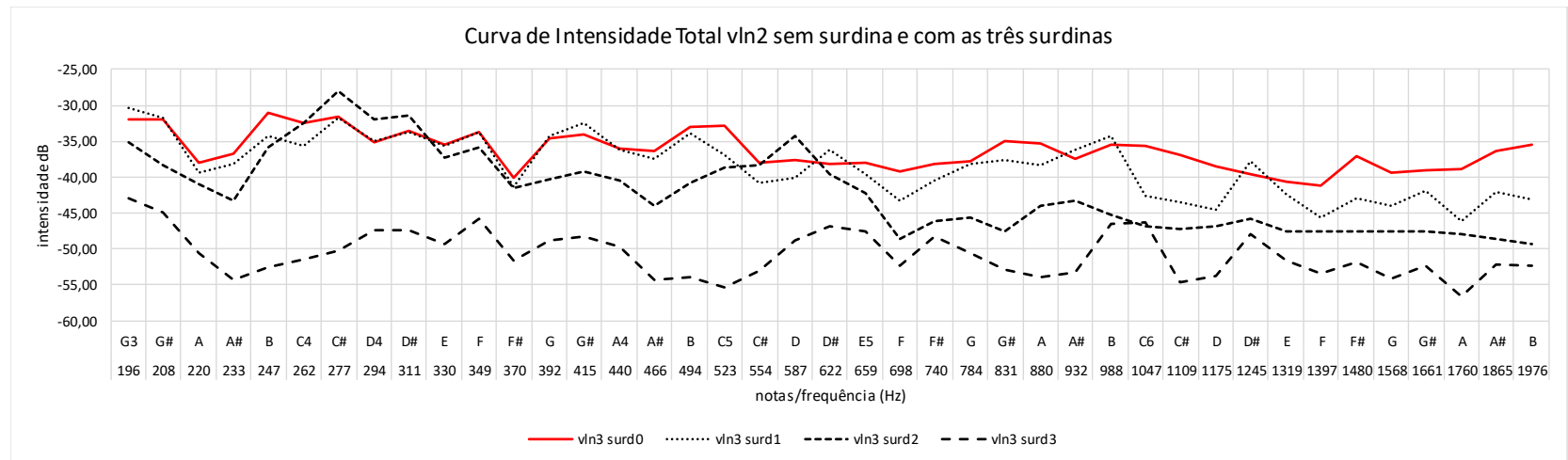


Gráfico apII.14

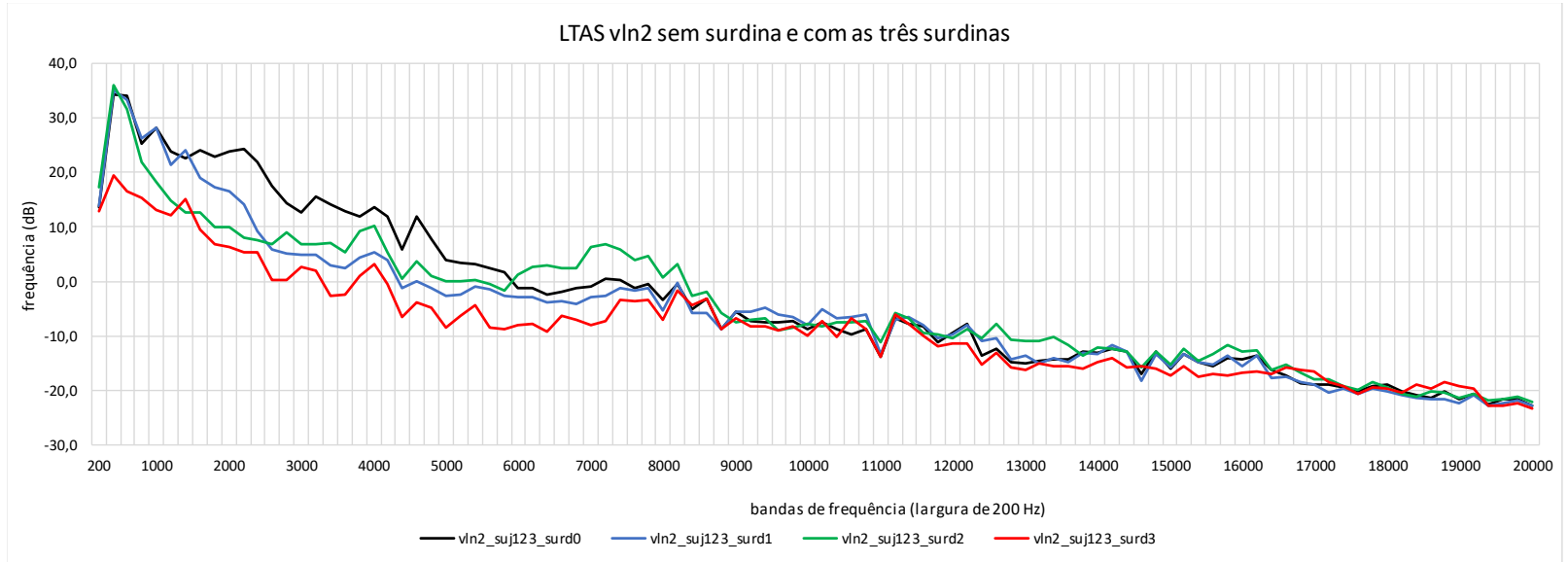


Gráfico apII.15

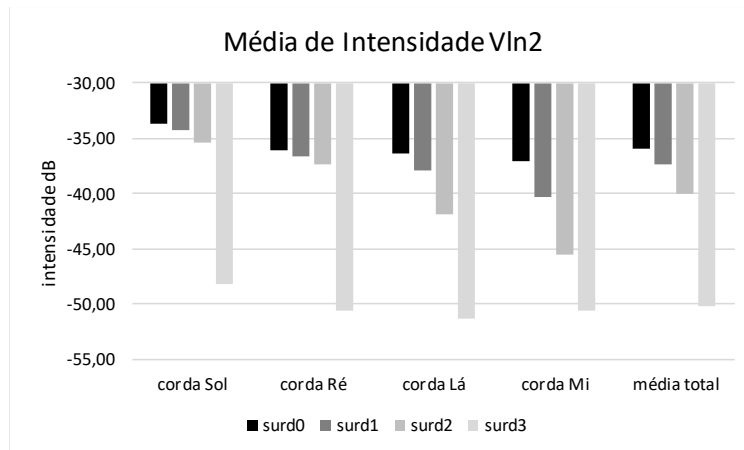


Gráfico apII.16

Gráficos vln3

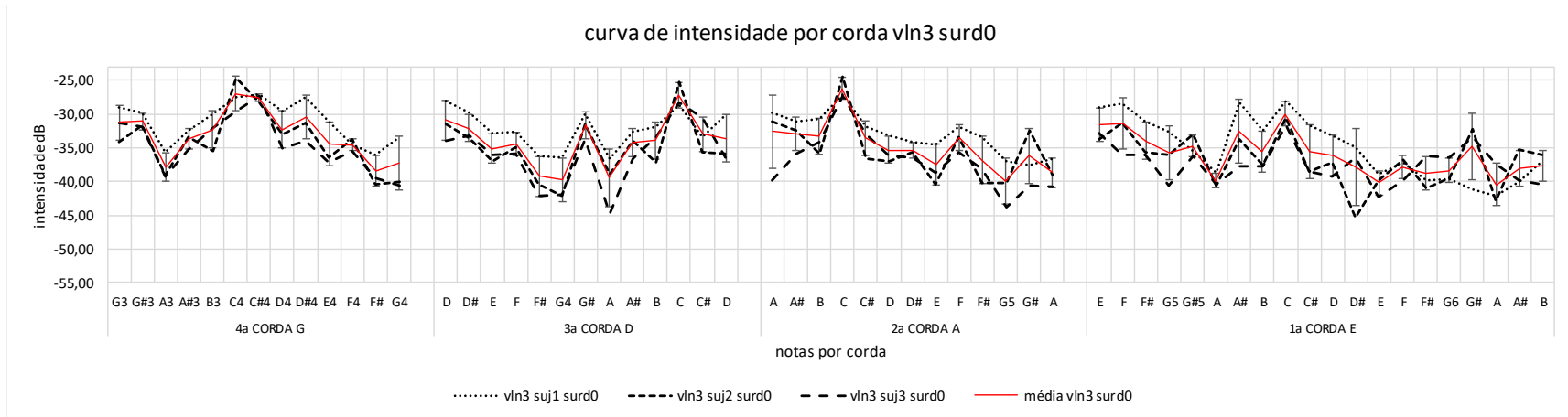


Gráfico apII.17

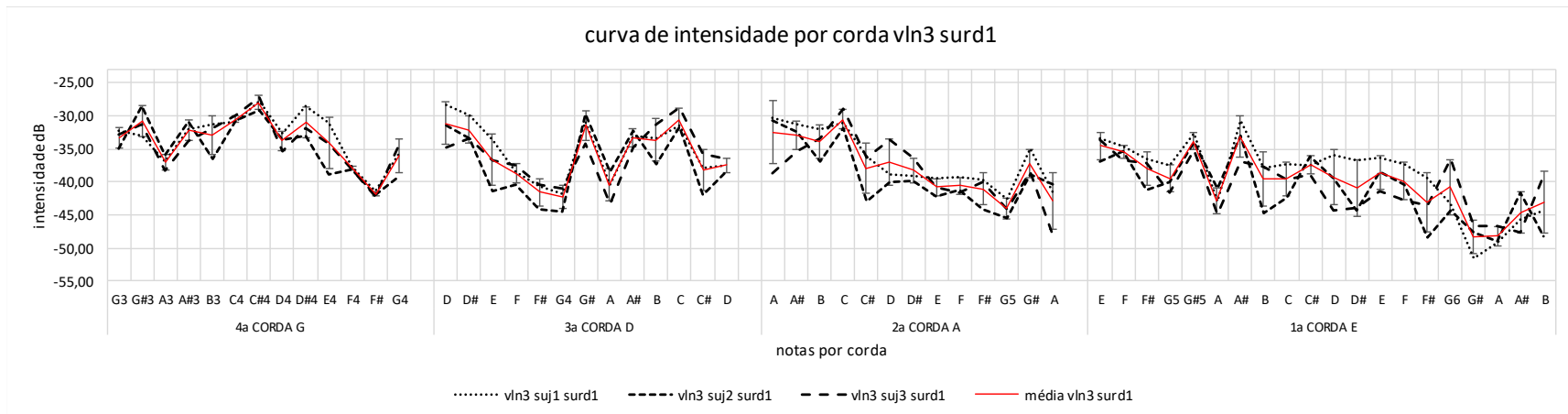


Gráfico apII.18

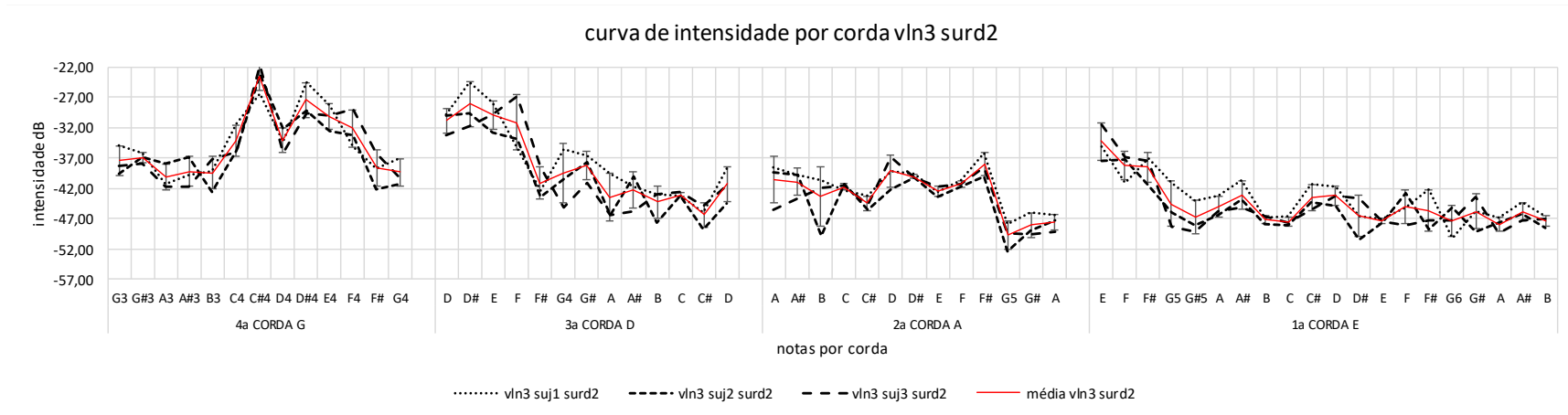


Gráfico apII.19

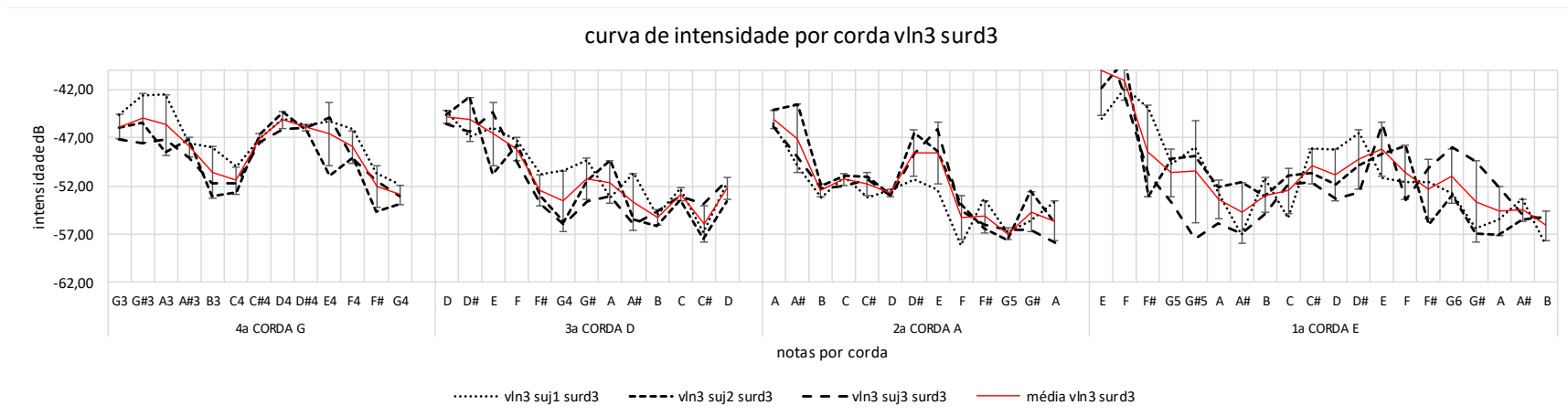


Gráfico apII.20

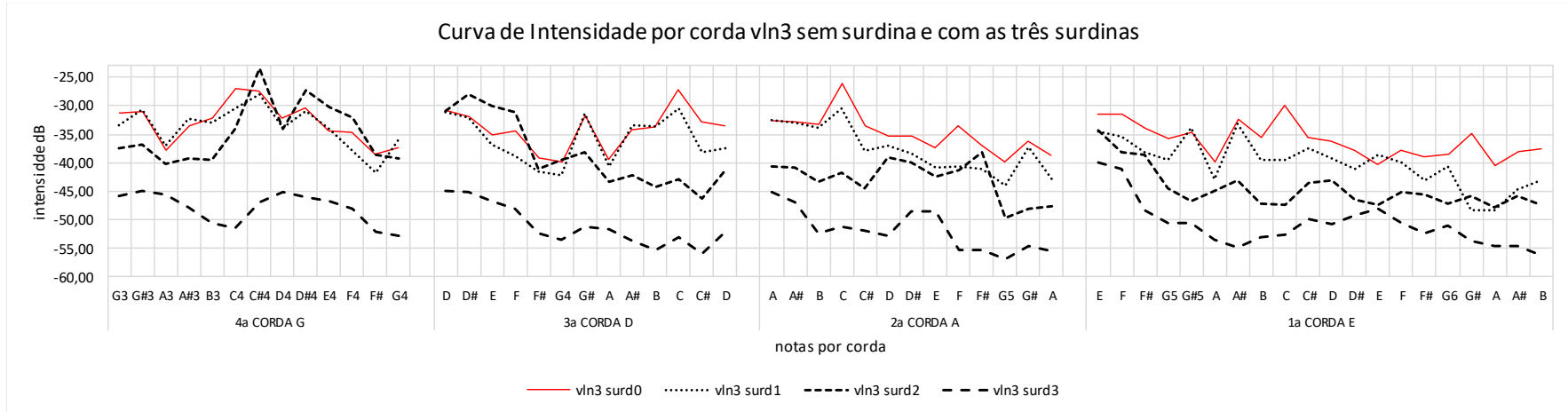


Gráfico apII.21

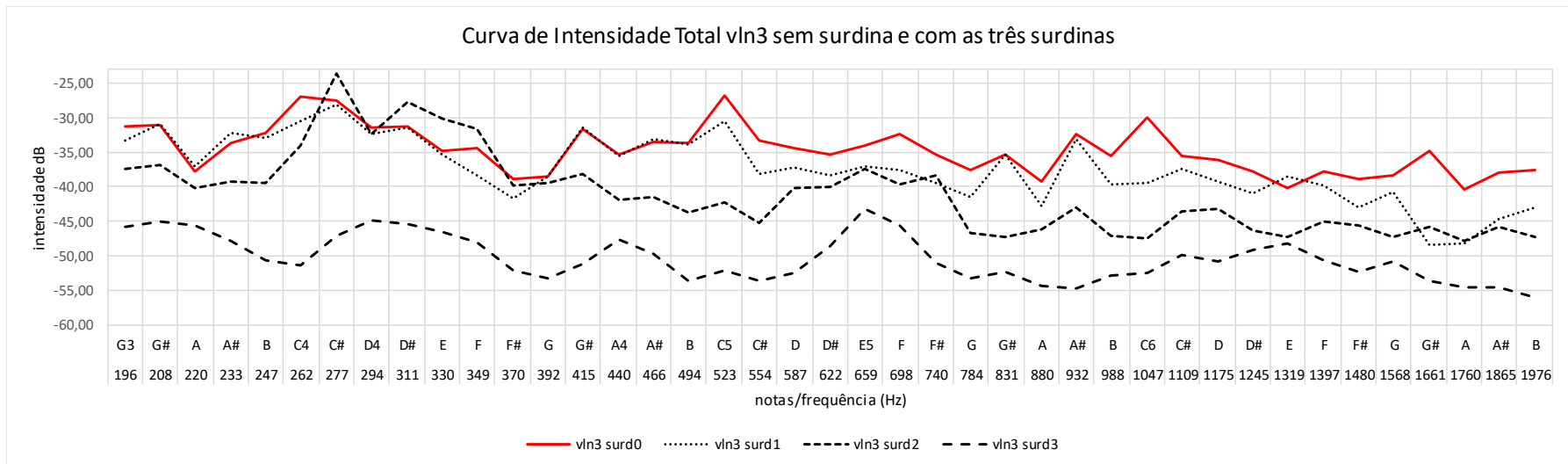


Gráfico apII.22

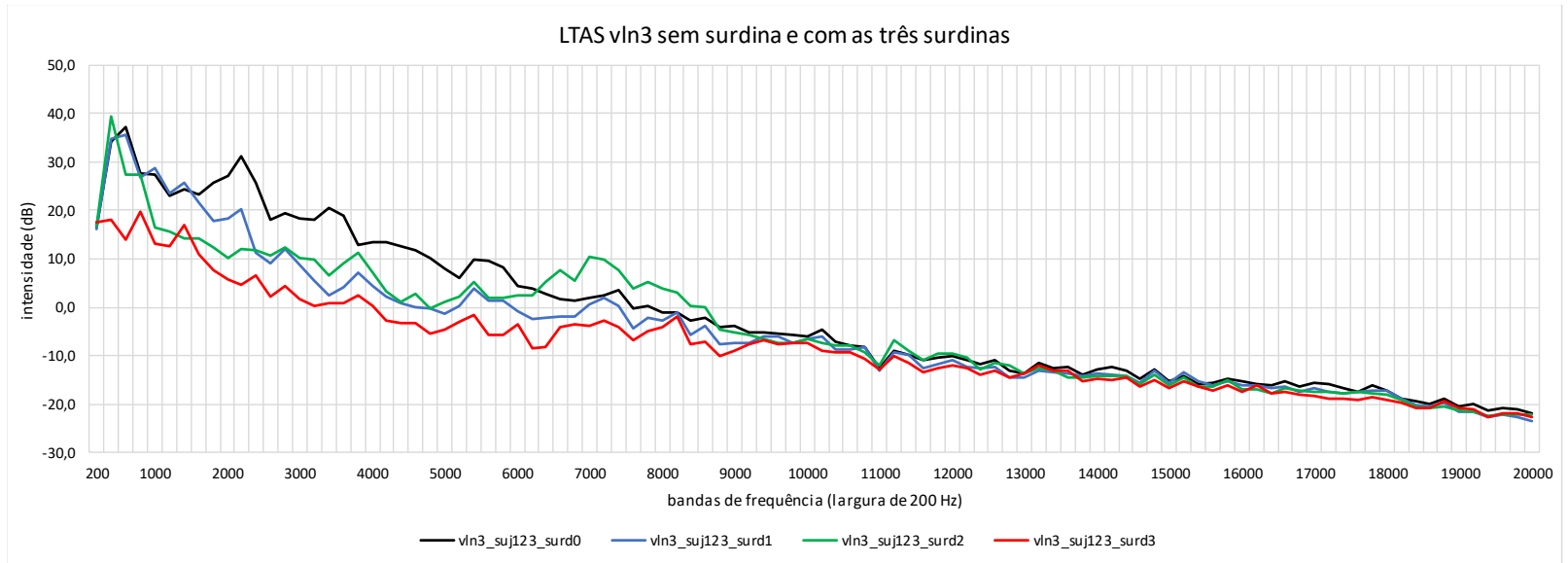


Gráfico apII.23

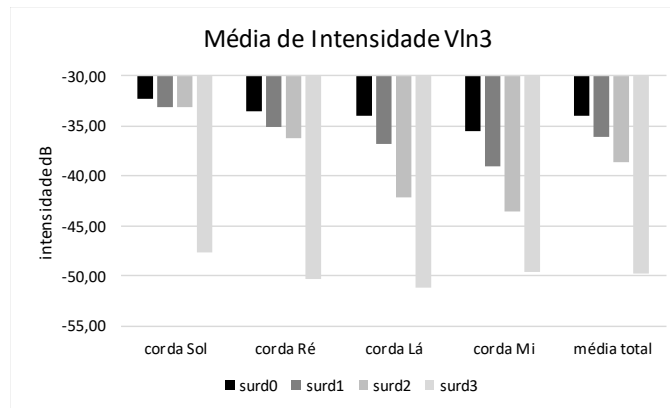


Gráfico apII.24

Gráficos vln4

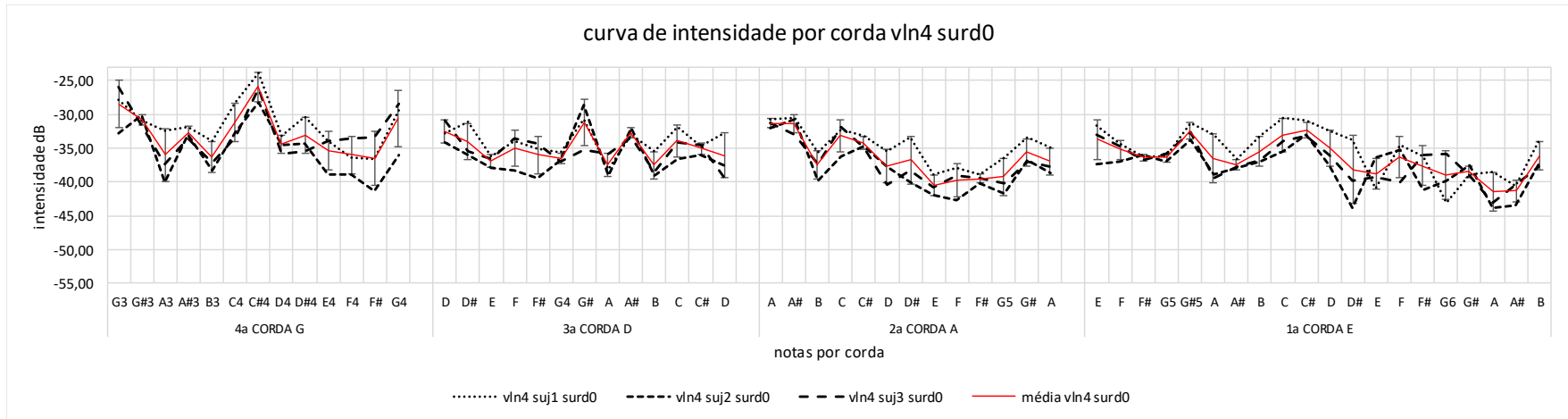


Gráfico apII.25

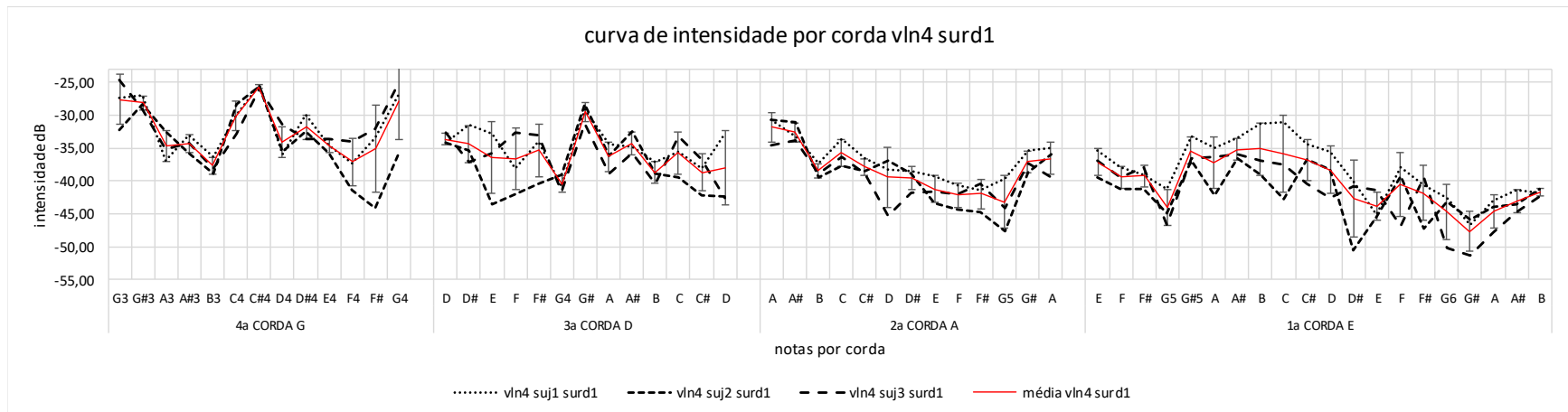


Gráfico apII.26

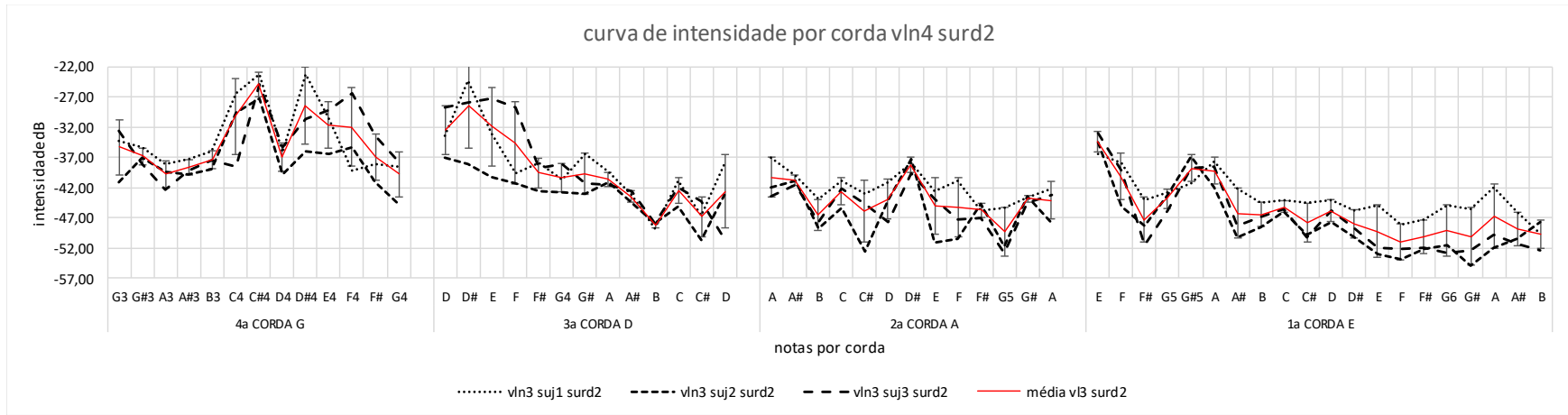


Gráfico apII.27

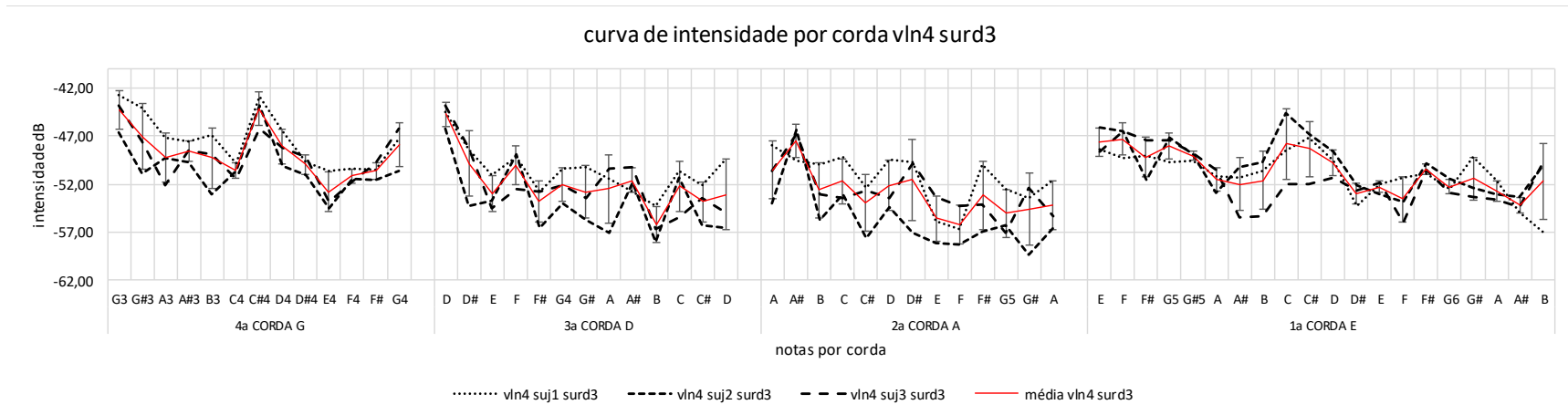


Gráfico apII.28

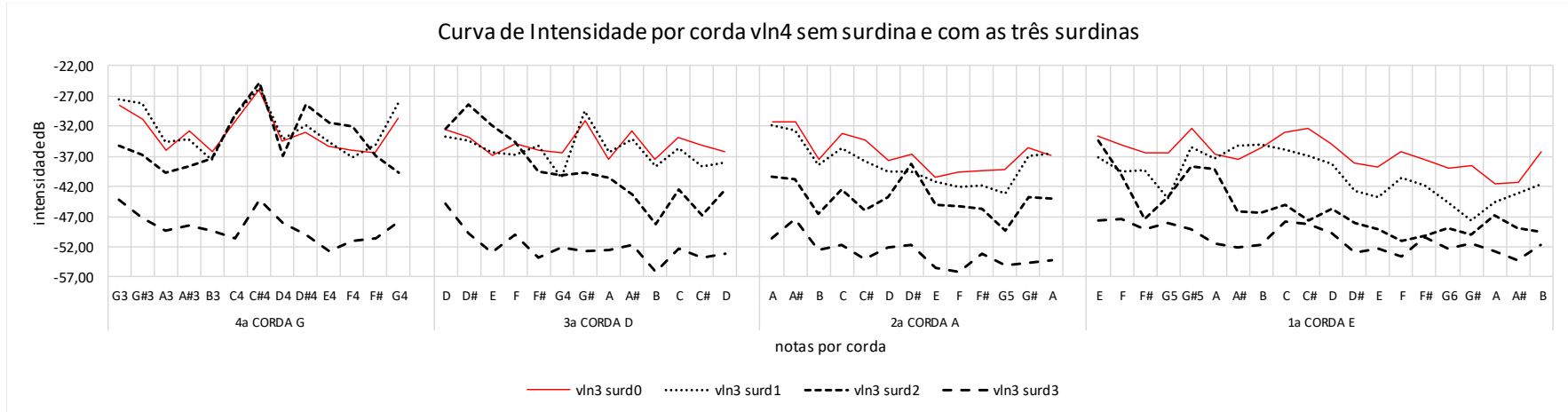


Gráfico apII.29

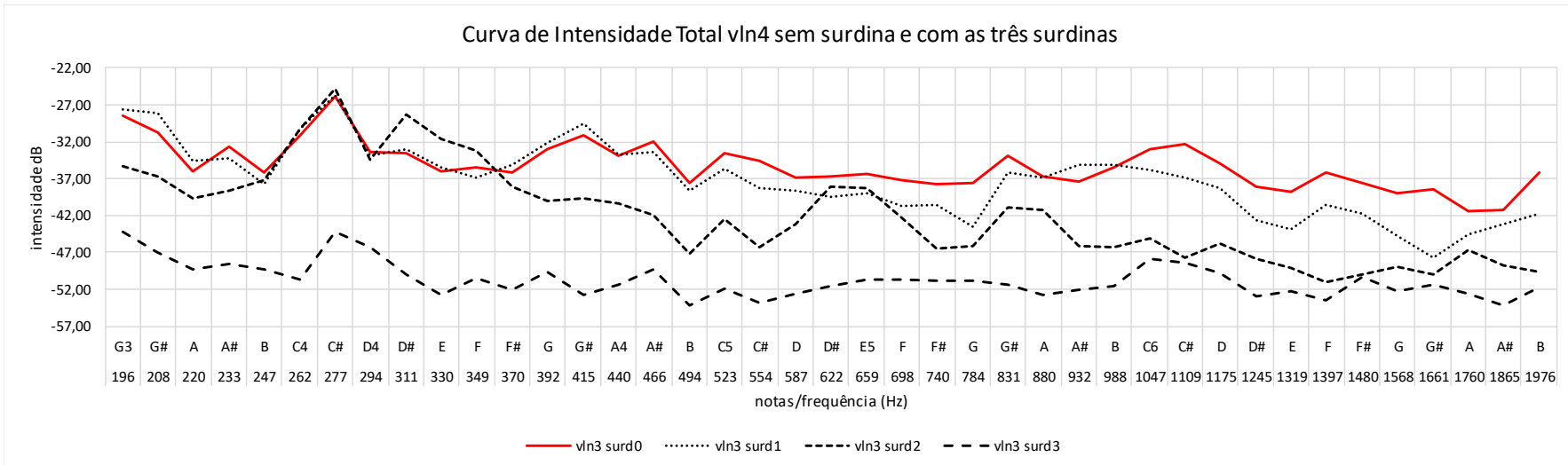


Gráfico apII.30

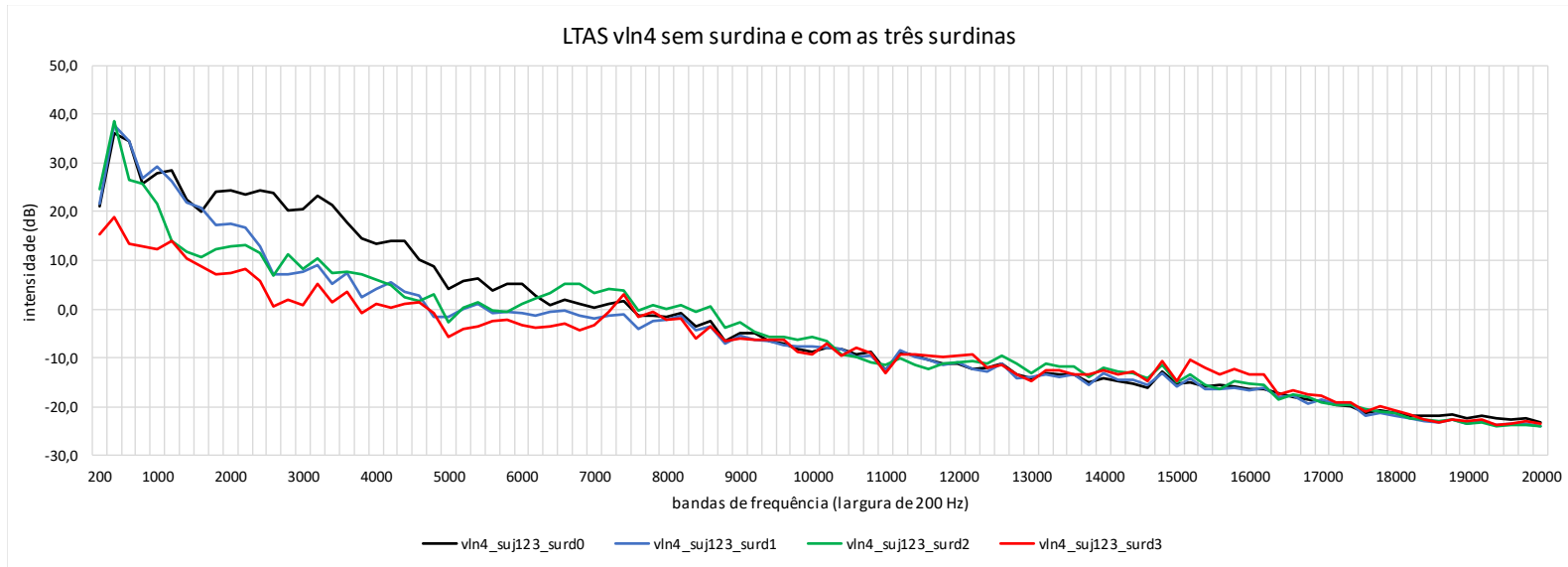


Gráfico apII.31

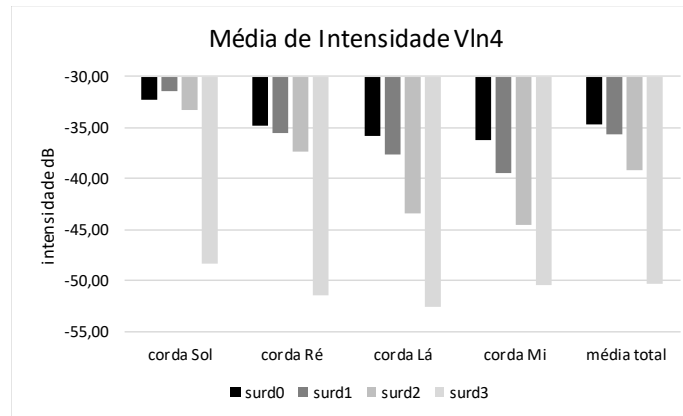


Gráfico apII.32

Gráficos vln5

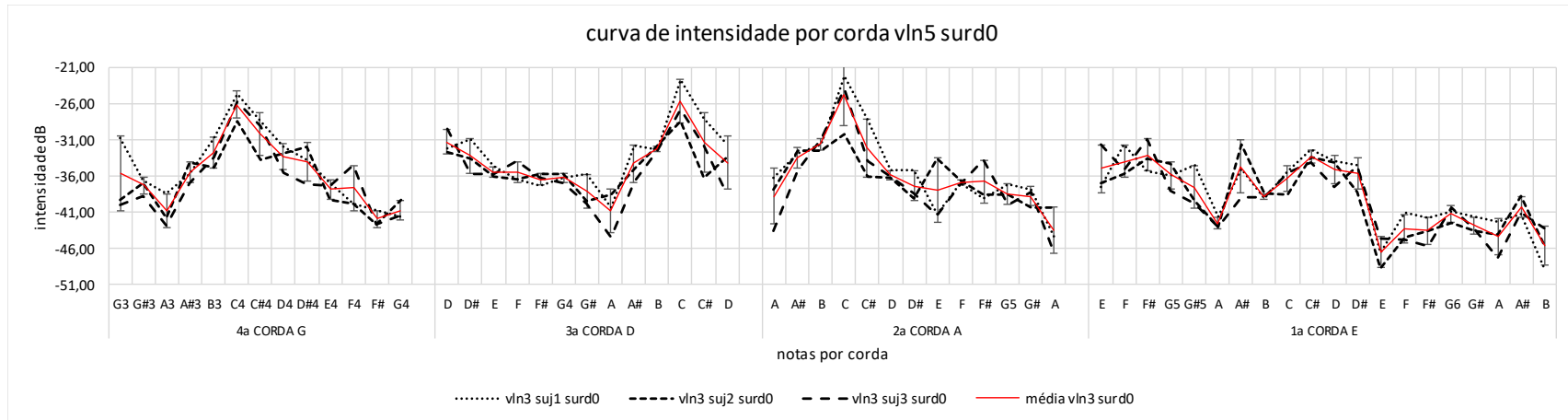


Gráfico apII.33

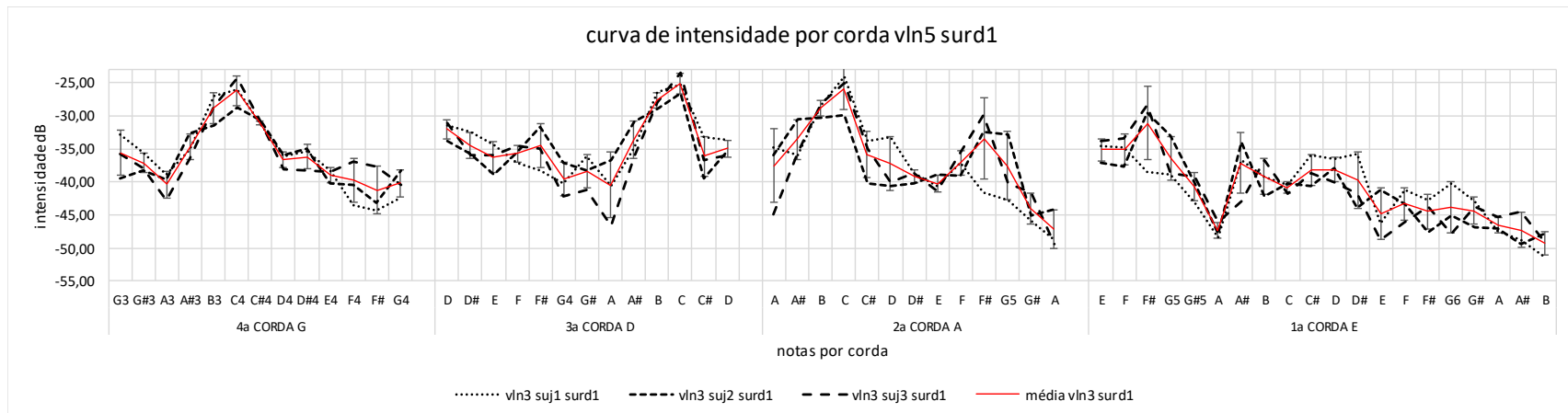


Gráfico apII.34

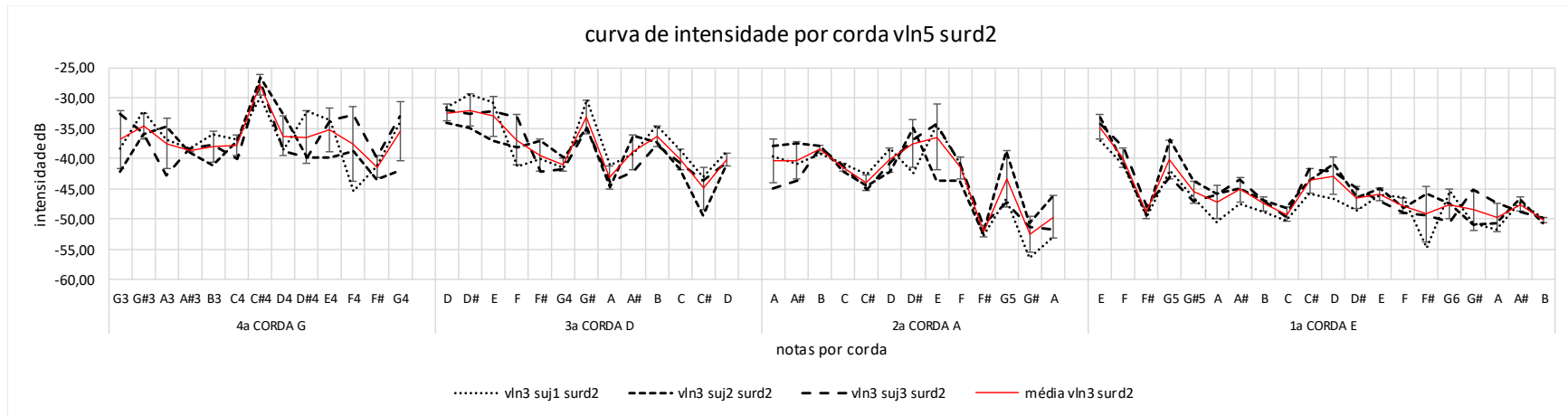


Gráfico apII.35

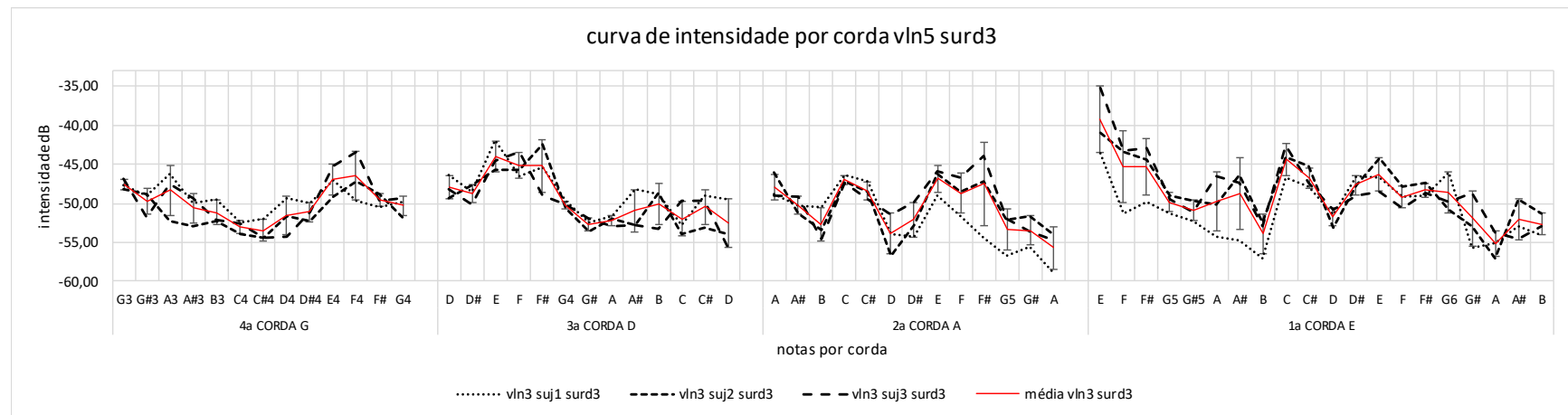


Gráfico apII.36

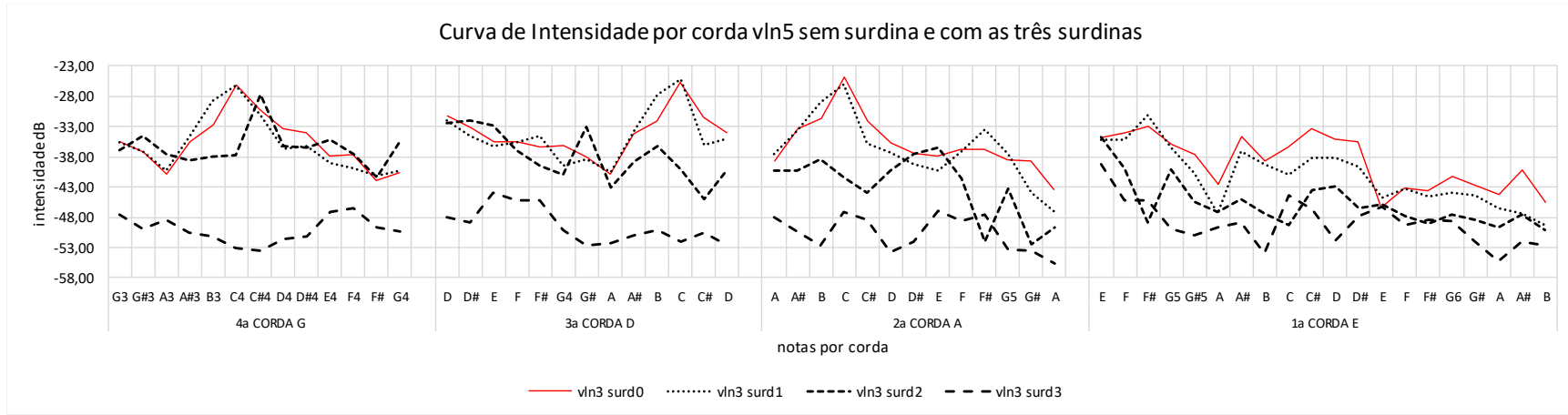


Gráfico apII.37

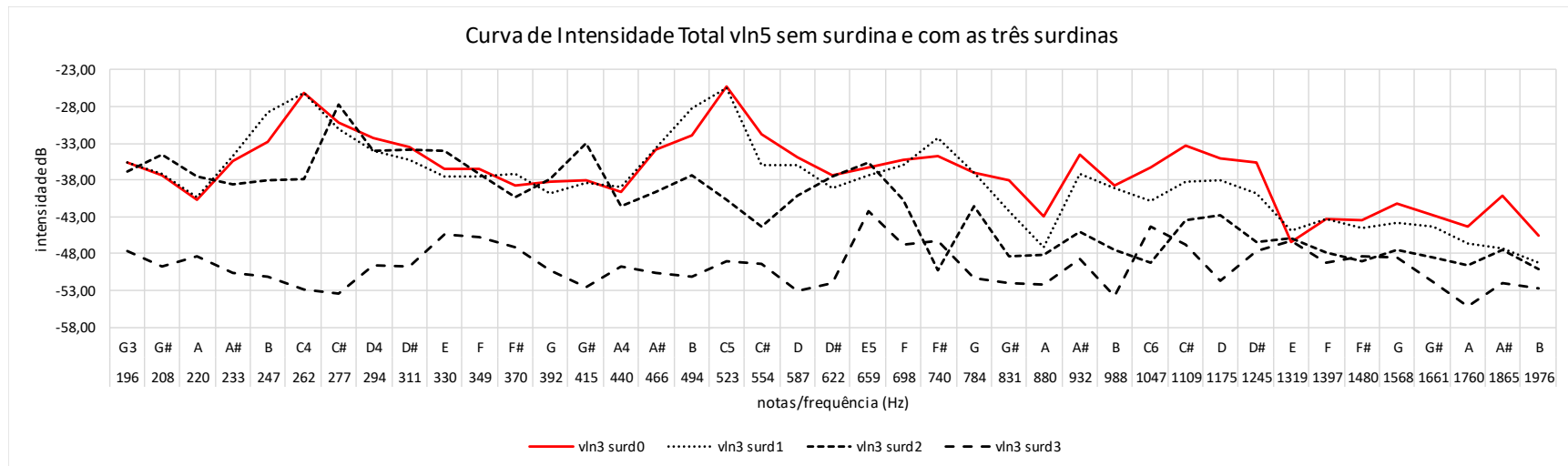


Gráfico apII.38

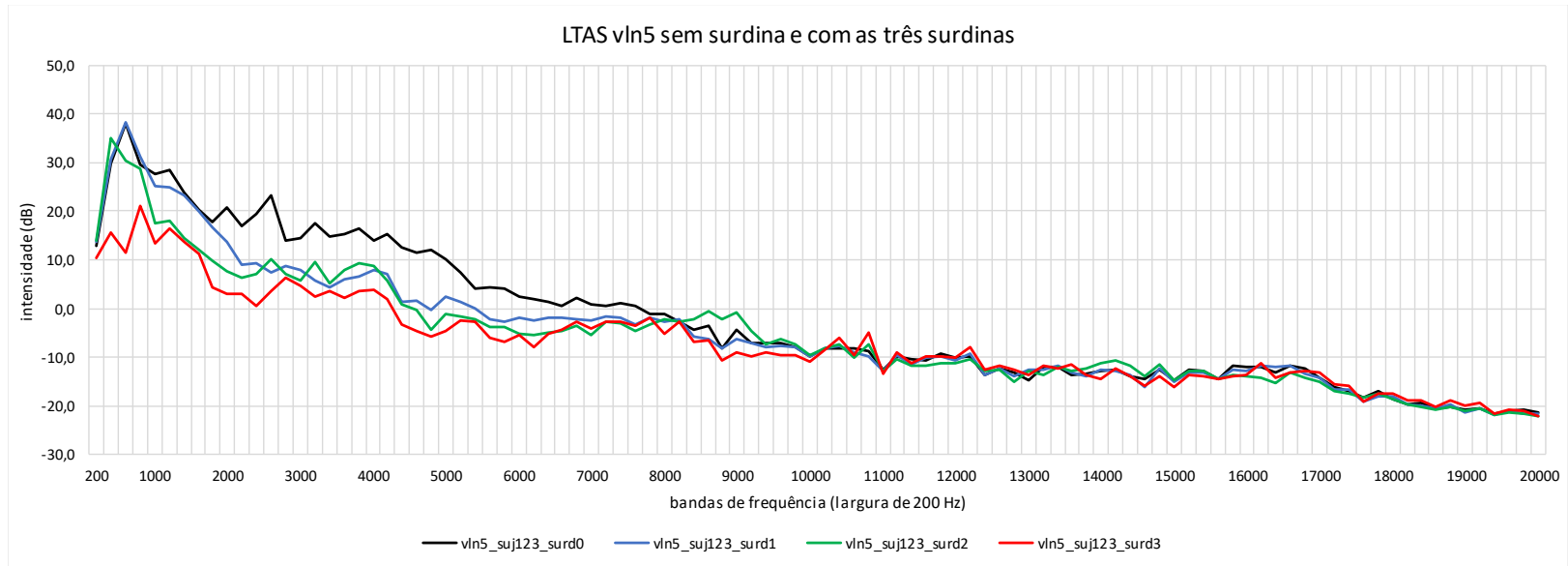


Gráfico apII.39

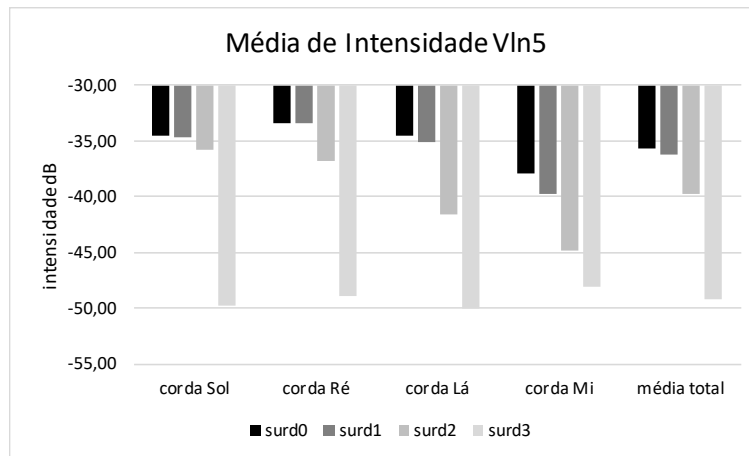


Gráfico apII.40

Gráficos vln6

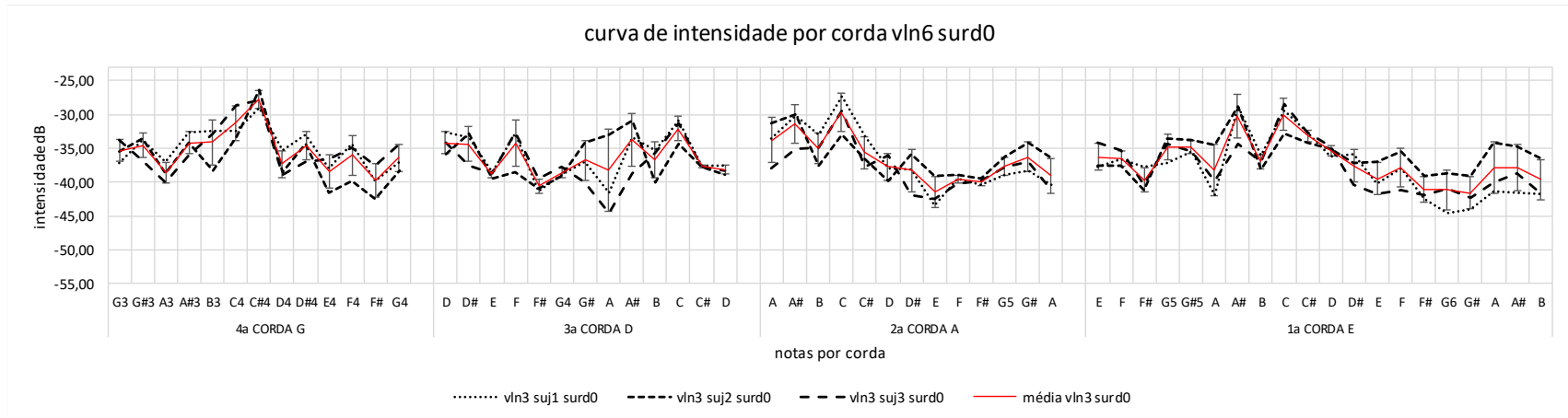


Gráfico apII.41

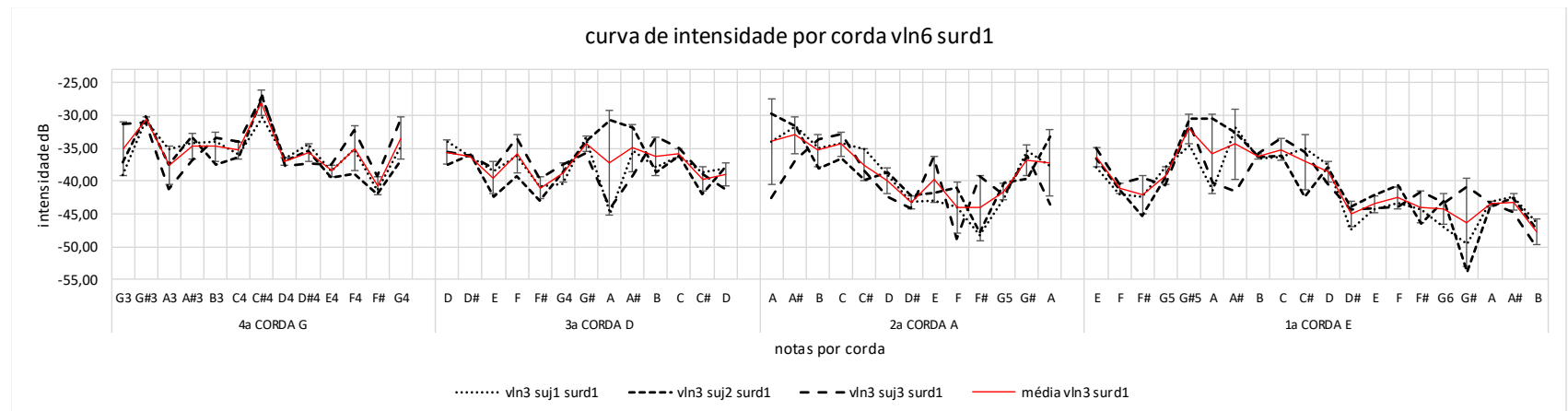


Gráfico apII.42

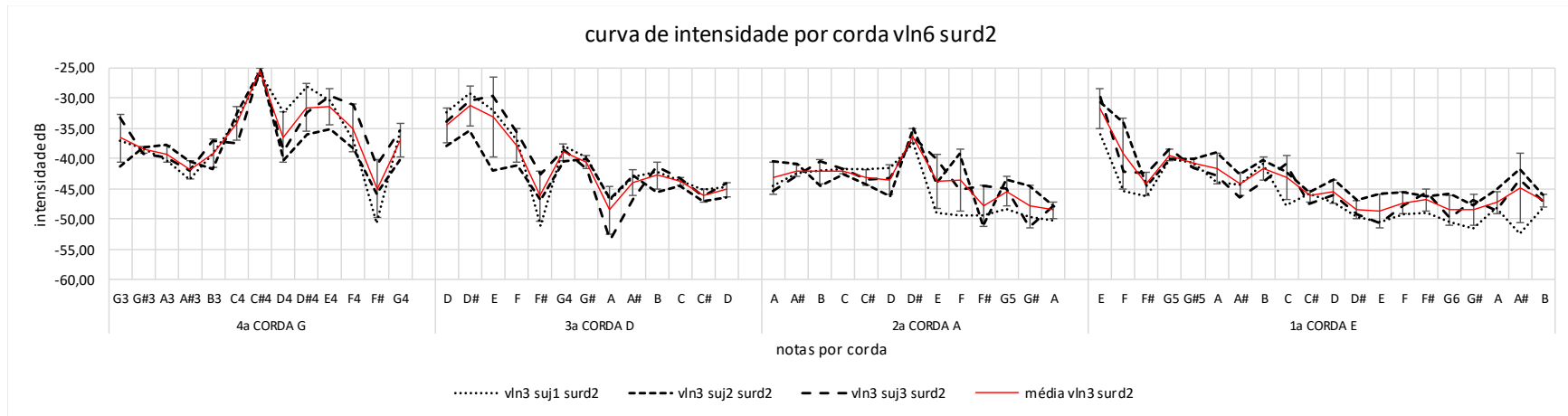


Gráfico apII.43

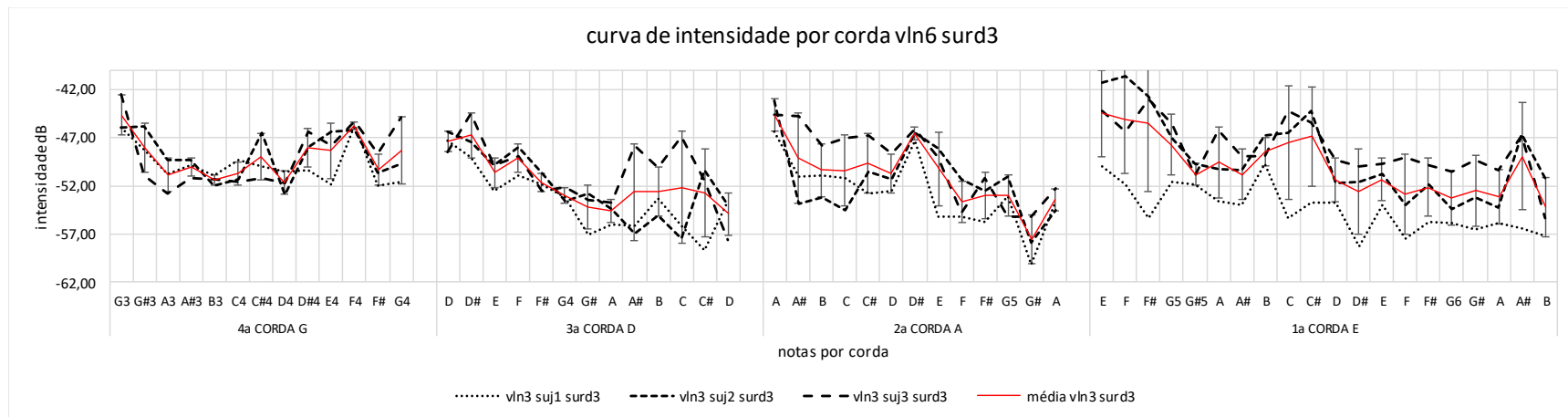


Gráfico apII.44

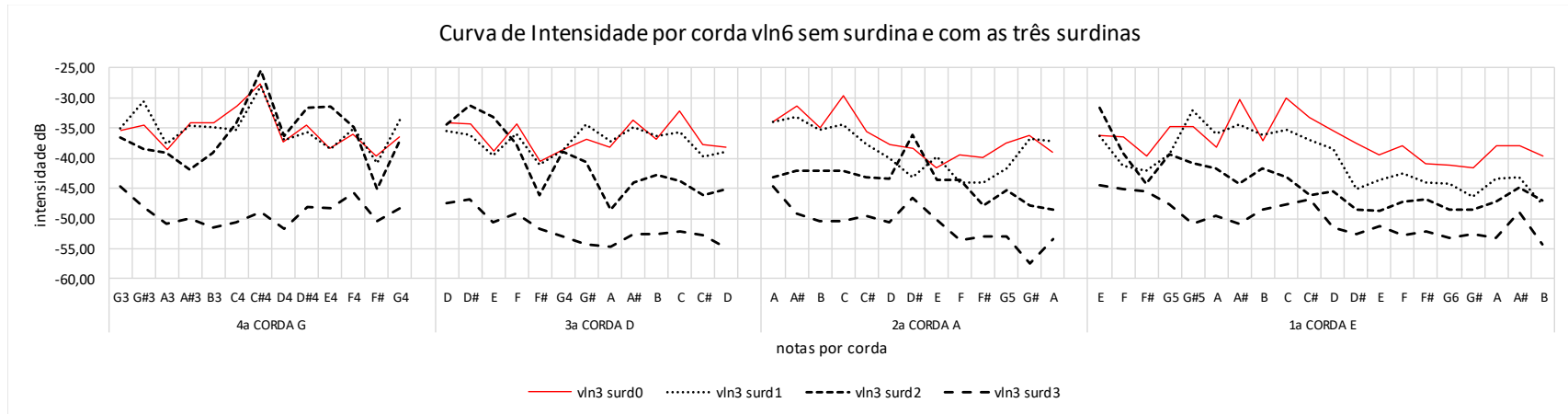


Gráfico apII.45

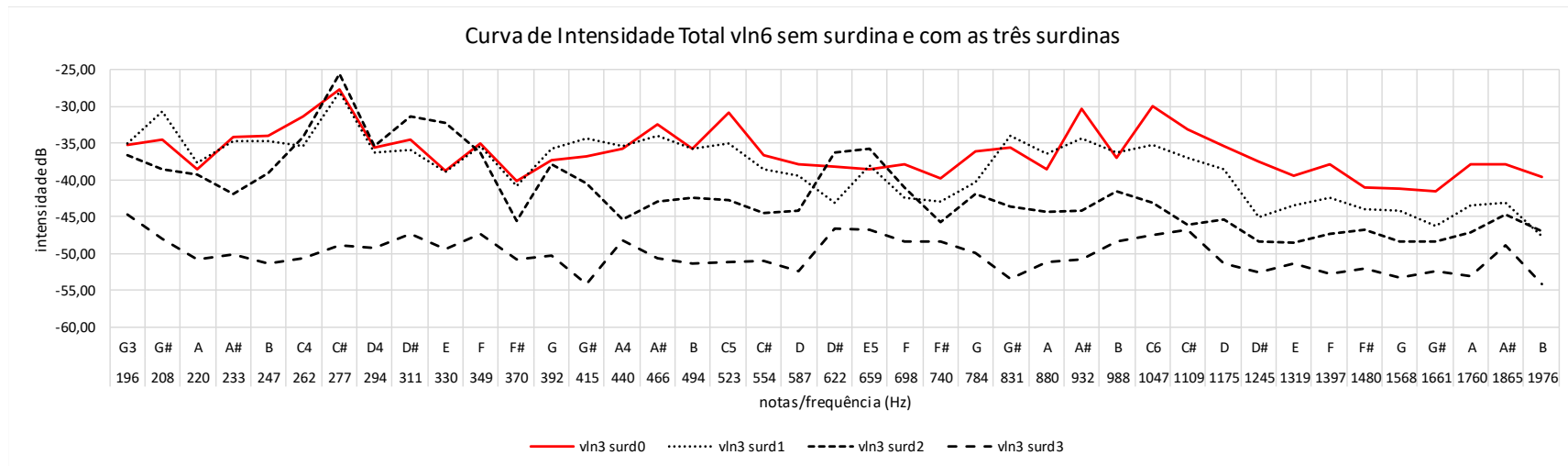


Gráfico apII.46

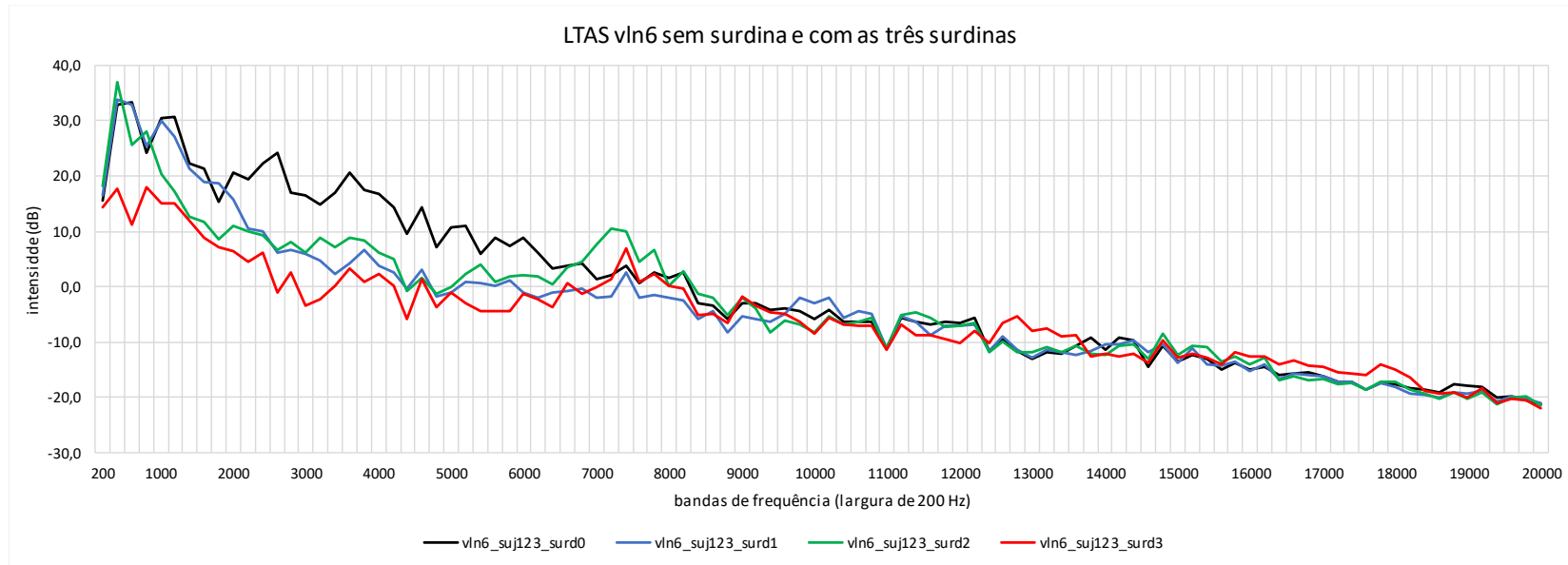


Gráfico apII.47

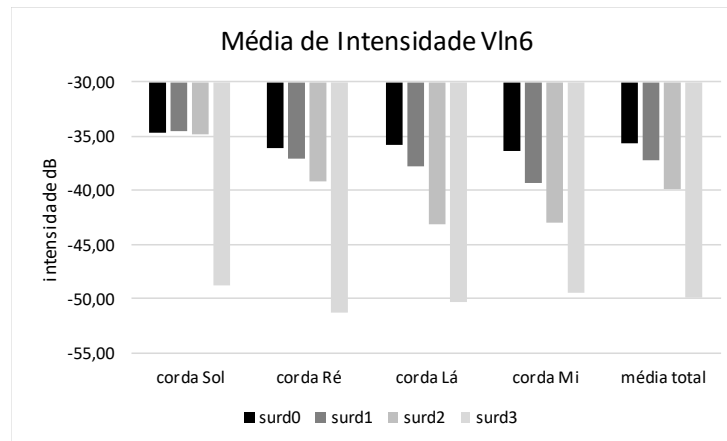


Gráfico apII.48