

Luiz Alberto Bavaresco de Naveda

# **O TIMBRE E O VOLUME SONORO DO VIOLÃO: UMA ABORDAGEM ACÚSTICA E PSICOACÚSTICA.**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado da Escola de Música da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Música.

Área de Concentração: Performance Musical

Orientador: Prof. Dr. Maurício Alves Loureiro

Belo Horizonte  
Escola de Música da Universidade Federal de Minas Gerais  
Agosto de 2002

# Agradecimentos

Gostaria de agradecer ao meu orientador Prof. Dr. Maurício Loureiro por todo suporte, abertura e paciência dispensada durante a pesquisa e todo apoio recebido pelo Mestrado em Música da UFMG e pela Escola de Música da UEMG.

Às professoras Cecília Cavalieri e Rosângela Tugni pela atenção e confiança e pelos sentidos científico, musical e humano compartilhados durante minha passagem pela UFMG. Ao Professor Lucas Bretas e a Marli pela paciência e apoio durante o mestrado.

Agradeço ao Professor Fernando Araújo pela gentileza e pelo indispensável material bibliográfico, ao Professor Flávio Barbreitas pelos decisivos conselhos e revisões durante a pesquisa, ao luthier Antônio de Pádua por toda ajuda e apoio com meu instrumento e a todos os sujeitos que permitiram a realização dos testes subjetivos. Minha gratidão ao Professor Rogério Bianchi pela dedicação e sabedoria ao me preparar para enfrentar os limites e possibilidades musicais que me foram propostos e a todos os meus alunos pela oportunidade de aprender com eles.

Ao Professor Hani Camile Yenja pela ajuda na abordagem experimental e matemática no tratamento dos testes, e ao Professor Maurílio Nunes Vieira pelas perspectivas e verificação dos problemas centrais da pesquisa.

Gostaria de agradecer ao Hugo de Paula, pelas sugestões, experiência e apoio com os computadores e a Pedro Duraes pelas observações, disponibilidade e ajuda na pesquisa e principalmente nas gravações.

Aos músicos Sandra Alves Meira, Daniel Christófar, Marcelo Pereira, Rosana Marreco e Vito Duarte pelos momentos de intensa musicalidade vivida nos meus recitais de mestrado e especialmente à Ana Consuelo Ramos, por todo o apoio, convivência e sensibilidade. Gostaria de agradecer também aos meus amigos Ricardo Ceron e Giuliano Ranieri pela amizade incondicional e imprescindível neste período.

Por fim, toda gratidão a Deus, minha família, minha irmã e principalmente meus pais, responsáveis primeiros por estes meus caminhos nos quais não me faltam motivos, situações e amigos para agradecer.

*“...my idea always is to reduce this enormous quantity of people to the intimacy of eight or ten persons. To obtain from audience the quality of silence and attention that the guitar needs and then transform the whole audience into an intimate gathering.”*

Andrés Segovia

# SUMÁRIO

---

<b>Capítulo 1 - Introdução.....</b>	<b>10</b>
1.1. <b>Objetivos da pesquisa.....</b>	<b>10</b>
1.2. <b>Métodos .....</b>	<b>12</b>
<b>Capítulo 2 - História do Violão.....</b>	<b>14</b>
2.1. <b>Alaúde.....</b>	<b>14</b>
2.2. <b>Vihuela.....</b>	<b>17</b>
2.3. <b>Guitarra.....</b>	<b>18</b>
2.4. <b>Século XVII.....</b>	<b>20</b>
2.5. <b>O violão do século XIX.....</b>	<b>26</b>
2.6. <b>O violão Moderno.....</b>	<b>31</b>
<b>Capítulo 3 - Acústica do violão.....</b>	<b>34</b>
3.1. <b>Anatomia do violão.....</b>	<b>34</b>
3.1.1.    O tampo superior e a ponte.....	36
3.1.2.    Cavidade de ar .....	38
3.1.3.    Radiação do som.....	39
3.1.4.    O leque.....	41
3.1.5.    Propriedades físicas do corpo do violão .....	42
3.2. <b>Cordas .....</b>	<b>45</b>
3.2.1.    Tipos de vibração da corda dedilhada .....	48
3.3. <b>Interação dedo-corda .....</b>	<b>50</b>
3.3.1.    Posição do ataque .....	50
3.3.2.    Dedilhado e liberação da corda .....	52
3.3.3.    Ângulos de ataque da corda.....	57
3.3.4.    Ataque “Apoiado” e “Tirando”.....	59
<b>Capítulo 4 - O Problema do volume do violão .....</b>	<b>62</b>
4.1. <b>Introdução.....</b>	<b>62</b>
4.2. <b>O volume do violão .....</b>	<b>67</b>
4.2.1.    Técnica violonística e volume .....	68
4.2.2.    Recursos técnicos e o timbre do violão.....	73
4.3. <b>Melhoria do projeto de construção .....</b>	<b>80</b>
<b>Capítulo 5 - Trabalho experimental.....</b>	<b>90</b>
5.1. <b>Objetivos do estudo .....</b>	<b>90</b>
5.2. <b>Aquisição de dados .....</b>	<b>90</b>
5.2.1.    Escolha das notas.....	90
5.2.2.    Metodologia de gravação.....	92
5.2.3.    Metodologia de execução .....	93
5.3. <b>Metodologia dos testes auditivos.....</b>	<b>95</b>
5.4. <b>Preparação das Amostras .....</b>	<b>97</b>

5.4.1.	Equalização da duração .....	97
5.4.2.	Equalização do volume .....	98
<b>5.5.</b>	<b>Avaliação de volume percebido .....</b>	<b>107</b>
<b>Capítulo 6 - Análise e discussão dos resultados .....</b>		<b>112</b>
<b>6.1.</b>	<b>Análise das amostras .....</b>	<b>112</b>
6.1.1.	Tempos de decaimento .....	112
6.1.2.	Análises espectrais .....	116
<b>6.2.</b>	<b>Discussão dos resultados dos testes .....</b>	<b>119</b>
6.2.1.	Caracterização do timbre das amostras .....	120
6.2.2.	Significado dos resultados .....	122
<b>Capítulo 7 - Conclusão .....</b>		<b>128</b>
<b>7.1.</b>	<b>O volume e o timbre do som do violão .....</b>	<b>128</b>
<b>7.2.</b>	<b>Trabalhos futuros .....</b>	<b>131</b>
<b>Referências Bibliográficas .....</b>		<b>132</b>
<b>ANEXO A .....</b>		<b>135</b>
<b>ANEXO B .....</b>		<b>149</b>
<b>ANEXO C .....</b>		<b>173</b>
<b>GLOSSÁRIO .....</b>		<b>186</b>

## LISTA DE FIGURAS

---

FIGURA 1.1: Espectrograma de um crescendo realizado pelo violão. Observamos que o aumento da amplitude (eixo vertical) durante o tempo é acompanhado de um alargamento lateral do conteúdo de parciais envolvidas na gama de frequências audíveis.....	12
FIGURA 2.1: Quadro evolutivo da família do violão. FONTE: HOEK (1977). Tradução do autor.....	15
FIGURA 2.2: Instrumentos da família do violão. FONTE: HOEK (1977) .....	16
FIGURA 3.1: Diagrama explodido do violão. FONTE: WRIGTH (1996) .....	35
FIGURA 3.2: Modelo físico do violão proposto por ROSSING (1990) .....	36
FIGURA 3.3: Contornos dos cinco primeiros modos de vibração do tampo superior do violão. O leque utilizado para o calculo dos movimentos é descrito na figura (f). O movimento descrito está exagerado para melhor visualização sendo o movimento real da ordem de micra. FONTE: RICHARDSON (1994, p.4).....	37
FIGURA 3.4: Análises dos modos do violão. FONTE: RICHARDSOM (1994).....	38
FIGURA 3.5: Modos do tampo e respectivas análises de radiação de campo. Os gráficos mostram medições de pressão por unidade de força aplicada realizadas pelo Professor Richardsom na Universidade de Cardiff (Disponível em < <a href="http://www.astro.cf.ac.uk/groups/acoucomp/">http://www.astro.cf.ac.uk/groups/acoucomp/</a> > ).....	40
FIGURA 3.6: Principais tipos de leque : a) leque tradicional b) Bouchet (França) c) Ramirez (Espanha) d) Leque atravessado. FONTE: ROSSING (1990) .....	41
FIGURA 3.7: Efeitos na forma dos modos FONTE: RICHARDSOM (1994).....	42
FIGURA 3.8: O eixo vertical apresenta a amplitude da resposta da pressão sonora de resposta. O eixo horizontal dispõe em escala logarítmica as frequências do vibrador. FONTE: ROSSING (1990) ...	43
FIGURA 3.9: Ressonância de um sistema vibrante induzido por uma frequência $f$ (FONTE: ROSSING, 1990, p. 54).....	44
FIGURA 3.10: Nodos e antinodos em ondas estacionárias FONTE: ROSSING (1990, p.39).....	46
FIGURA 3.11: Modos de vibração de uma corda FONTE: ROEDERER (1998, p. 160).....	47
FIGURA 3.12: Modos de vibração da 5ª corda do violão e indicação da posição de ataque em relação à configuração de cada modo (lá 2). .....	48
FIGURA 3.13: Tipos de vibração da corda do violão. As setas indicam as direções relacionadas com os modos de vibração da corda em um ponto imaginário da corda. FONTE: TOLONEN (1998, p. 12) .....	49
FIGURA 3.14: Potência sonora (eixo vertical) em função da frequência (eixo horizontal) para três vetores de força diferentes (setas à direita) aplicados na ponte. FONTE: RICHARDSON (1997, p. 1631) 49	
FIGURA 3.15: Força necessária (unidades arbitrárias no eixo vertical) para se manter a mesma potência em cada distância fracional (eixo horizontal) da corda. FONTE: TAYLOR (1990, p. 24) .....	51
FIGURA 3.16: Maneiras de liberação da corda. FONTE: TAYLOR (1990, p. 26).....	53
FIGURA 3.17: Dimensões da unha como rampa FONTE: TAYLOR (1990, p. 53).....	54
FIGURA 3.18: Dois exemplos de modificação das dimensões da rampa pelo tipo de ataque do dedo. Este tipo de posicionamento é normalmente realizado a partir da alteração do ângulo do pulso. FONTE: TAYLOR (1990).....	55
FIGURA 3.19: (a) Planos utilizados nas medições em relação ao corpo do violão e (b) disposição dos instrumentos de medição acoplados ao violão para a verificação do deslocamento da corda pelos planos y (sensor 1 ) e x (sensor 2 ). FONTE: PAVLIDOU (1997) .....	56
FIGURA 3.20: (a) Constituição das partes do modelo (bidimensional) de interação dedo-corda com apenas uma junta (J) e (b) modelo vetorial utilizado na simulação computacional por PAVLIDOU. KL representa a área entre a primeira e a última falange, ML a unha, JML a ponta do dedo e KL o músculo. T1, T2 e T3 são os pontos iniciais de ataque da unha. T1 é o ponto mais profundo e T3 o mais superficial (ponta da unha). FONTE: PAVLIDOU (1997).....	56
FIGURA 3.21: Trajetória da posição de ataque quando o ponto inicial foi (a) T1, (b) T2, e (c) T3, indicado na figura 3.20-b (unidades em metros). FONTE: PAVLIDOU (1997) .....	57
FIGURA 3.22: Duas posições da mão direita: linha das cabeças dos ossos metacarpianos (a) paralelas à corda (b) e em diagonal. FONTE: TAYLOR (1990, p. 54) .....	58
FIGURA 3.23: Simulação das trajetórias para um tipo de toque perpendicular (área escura) e outro em diagonal (área clara). Os dados foram colhidos com o a mesma montagem experimental da figura 3.19. A figura foi adaptada para melhor visualização. FONTE: PAVLIDOU (1997, p. 154) .....	59
FIGURA 3.24: Três fases do ataque Apoiado. FONTE:TAYLOR (1990) .....	59
FIGURA 3.25: Três fases do ataque Tirando. FONTE:TAYLOR (1990).....	60

FIGURA 3.26: Variações dos ataques Tirando e Apoiado e respectivas direções da corda. FONTE: TAYLOR (1990, p. 48).....	60
FIGURA 3.27: Trajetória simulada da corda para os ataques (a) Apoiado e (b) Tirando. FONTE: PAVLIDOU (1997) .....	61
FIGURA 4.1: Gráfico de curvas de volume igual medidas por Fletcher e Munson com a região da extensão de alturas fundamentais e intensidades do violão realçada. FONTE: ROEDERER (1998, p. 134).....	64
FIGURA 4.2: Volume relativo de sons puros de curta duração em três frequências diferentes. FONTE: ROEDERER (1998).....	65
FIGURA 4.3: Divisões da envoltória de um som. FONTE: HADJA et al. (1997, p.275).....	66
FIGURA 4.4: Envelope do decaimento de uma nota (si-3) do violão, com valores arbitrários de amplitude. ....	66
FIGURA 4.5: Centro do movimento (indicado pelos pontos) disposto na anatomia da mão direita, para os tipos de toques dispostos em ordem de intensidade sonora. FONTE: CARLEVARO (1979, p. 66) 69	
FIGURA 4.6: Sequência de movimentos para o tipo de ataque proposto por HIL. FONTE: HIL (1991, p.3) .....	71
FIGURA 4.7: Os dois extremos da vibração da corda. (FONTE: TAYLOR, 1990, p. 44).....	72
FIGURA 4.8: Espectrograma de uma nota do violão indicando as ocorrências apresentadas por FIRTH (1982). O eixo vertical apresenta um escala linear de 20 a 20000 Hz e o eixo horizontal uma escala de tempo de 1 segundo.....	76
FIGURA 4.9: Comparação entre as frequências dos modos de um violão moderno e de uma vihuela. FONTE: RICHARDSOM (1994). ....	81
FIGURA 4.10: Evolução do leque utilizado por Humphrey de 1991, 1993 e 1995. ....	85
FIGURA 4.11: Tipos de Inclinação do ângulo das cordas com o tampo. FONTE: ERLEWINE & SINGER (1996).....	86
FIGURA 4.12: Esquema exagerado do tipo de solução para o aumento de inclinação negativa realizada no tampo por T. Humphrey. ....	86
FIGURA 5.1: Sucessão de ataques, posterior liberação de uma nota 13ª (sol 4), e parte utilizada para o experimento.....	93
FIGURA 5.2: Abafadores de espuma utilizados para diminuição das ressonâncias de outras cordas durante a gravação. ....	94
FIGURA 5.3: Tipo de ataque utilizado nas gravações. FONTE: TAYLOR (1990).....	95
FIGURA 5.4: Interface de planejamento dos experimentos. ....	96
FIGURA 5.5: Régua de avaliação de após cada par de amostras ouvido. ....	96
FIGURA 5.6: Médias das respostas dos sujeitos por $\tau$ e média das médias para a nota 512.....	106
FIGURA 5.7 (A-F): Gráficos das médias dos resultados dos sujeitos e desvio padrão por resultados da nota Si – 3(27). ....	111
FIGURA 6.1: Exemplos de envoltórias analisadas.....	113
FIGURA 6.2: Médias de tempos de decaimentos nas Primas.....	114
FIGURA 6.3: Médias de tempos de decaimentos nos Bordões.....	115
FIGURA 6.6: Análise espectral de um ataque da nota 13 Tirando Sul-Ponticello com as respectivas escalas. Para o restante dos espectrogramas as escalas serão as mesmas, entretanto serão omitidas devido às dimensões das figuras. ....	116
FIGURA 6.7: Espectrograma da nota 312f. Observamos na figura a ausência de parciais médias e agudas que caracterizariam o tipo de transiente mais comum, provocada pela característica de seleção de modos do ataque Apoiado Sul-Tasto. ....	117
FIGURA 6.8: Espectrograma da nota 13b. Observamos na figura a forte presença de parciais no início do ataque e a diminuição graduada de parciais agudas no percurso do som. ....	117
FIGURA 6.9: Espectrograma da nota 40c. Observamos a ausência de parciais agudas e a presença de ruído em todo o sinal. Como todas as amostras foram gravadas sob as mesmas condições e analisadas com os mesmo parâmetros, a visualização deste ruído no espectrograma se deve à amplificação provocada pelo processo de equalização. ....	118
FIGURA 6.10: Forma de onda de uma nota 40f disposta em um gráfico de amplitude sobre tempo. É possível observar o <i>fade out</i> inserido no final da amostra, como descrito na seção 6.1.....	118
FIGURA 6.11: Quadro demonstrativo das análises realizadas no experimento. As amplitudes da envoltória e do gráfico Amplitude/tempo são arbitrarias pois não apresentam valores absolutos e não há necessidade de valores relativos precisos na magnitude destas figuras. A média RMS 1 indica a média de energia RMS antes da normalização, a média RMS 2 indica a média de energia RMS após a normalização, T.D. indica o tempo de decaimento em milissegundos.....	119

FIGURA 6.12: Gráfico da pontuação das médias significativas por tipo de ataque. Para cada média significativa acima da média de pares idênticos, foi creditado =1 ponto, abaixo -1 ponto. ....	123
FIGURA 6.13: Soma dos valores das médias significativas por tipo de ataque. ....	123
FIGURA 6.14: Médias das médias significativas por tipo de ataque. ....	124
FIGURA 6.15: Número de médias significativas por nota. ....	126
FIGURA 6.16: Número de médias significativas por ataque nas cordas primas, bordões e no total. ....	126

## LISTA DE TABELAS

---

TABELA 4.1: Dependência das qualidades subjetivas do som nos parâmetros físicos. FONTE: ROSSING (1980, p. 80).....	63
TABELA 4.2: Hierarquia de influência no som do violão segundo TAYLOR (1990) .....	78
TABELA 4.3: Hierarquia de influência no som do violão segundo PAVLIDOU (1997, p. 177) .....	78
TABELA 4.4: Influências dos parâmetros técnicos e respectivos operadores mecânicos no som do violão segundo TAYLOR (1990) e PAVLIDOU (1997).....	79
TABELA 5.1: Frequência, altura e posição das notas utilizadas para os experimentos. ....	91
TABELA 5.2: Variantes de ataques utilizados e rótulos de classificação nas listas computacionais. ....	92
TABELA 5.3: Distâncias do ponto de ataque à ponte para cada posição e ataque.....	94
TABELA 5.4: Tabela de combinações apresentadas (aleatoriamente) para cada sujeito em cada nota. O padrão timbrístico A aparece em todas as combinações. ....	103
TABELA 5.5: Resultados obtidos na avaliação na nota 512, para diferentes valores de $\tau$ .....	105
TABELA 5.6: Médias de todos os sujeitos, média de todas as médias e desvio padrão das médias para nota 512. ....	106
TABELA 5.7: Período $\tau$ escolhido para cada nota. ....	107
TABELA 5.8: Combinações geradas com os seis tipos de ataque.....	108
TABELA 5.9 (A-F): Tabelas de resultados para todos os tipos de ataque da nota Si-4 (27). As linhas s1 a s6 indicam os resultados para cada sujeito. As nomenclaturas das tabelas A1 a F1 indicam o primeiro som tocado, as colunas A2 a F2 indicam o segundo som tocado (os sujeitos responderam o teste tomando como referência o segundo som). A igualdade de volume é representada pelo número 0, as avaliações de volume maior ou menor são indicadas por números positivos e negativos, respectivamente, situados entre -2 e 2.....	109
TABELA 5.10: Médias e desvio padrão para cada tipo de ataque da nota Si-3 (27). A primeira tabela (a) de médias indicam os valores significativos obtidos pela realização de teste-p nos níveis de significância 0,10 e 0,05. A Tabela (b) mostra os desvios padrão para cada nota e a tabela (c) as médias entre as inversões de ordem (e.g. resultados dos cruzamentos AB e BA).....	110
TABELA 6.1: Tempos de decaimento, e médias por grupo de cordas nas notas utilizadas nos testes. ....	113

## RESUMO

---

### **O Timbre e o volume sonoro do violão: uma abordagem acústica e psicoacústica**

Os problemas com o volume sonoro no violão clássico, herdado de seus antepassados como o alaúde e a vihuela, têm influenciado a performance, construção e composição de obras para estes instrumentos. Novas tecnologias têm apresentado soluções como a utilização de novos materiais na construção do violão, confecção de cordas e possibilidades de amplificação de alta-fidelidade, sem no entanto, resultar em mudanças significativas e abrangentes. O violonista por sua vez, utiliza recursos da técnica do instrumento na tentativa de otimizar a percepção do volume. Neste estudo, alguns dos recursos mais utilizados da técnica violonística foram analisados em conjunto com uma revisão dos principais tópicos da acústica do instrumento e psicoacústica. Uma metodologia original de equalização do volume de sons impulsivos foi proposta, para que, através de testes subjetivos e análises dos componentes espectrais fosse possível descrever a influência dos principais fatores do timbre dos recursos violonísticos na percepção do volume. Os resultados demonstram uma dependência do volume percebido da combinação entre o tipo de decaimento e transientes do início do ataque. O volume percebido dos tipos de recursos violonísticos normalmente utilizados para o incremento do volume como o *apoiado*, parece não depender significativamente do atributo timbre.

## ABSTRACT

---

### **The timbre and the loudness of the classical guitar: a acoustic and psychoacoustic approach**

The problem of the loudness in the classical guitar was inherited from its ancestors like the lute and vihuela and has affected the performance, construction and composition works to this instrument. New technologies have presented solutions such as the use of new materials in guitar's construction, strings and high fidelity amplification without resulting in broad and significant changes. The guitar player uses technical recourses of guitar performance technique trying to increase the loudness. In this work, some of the most used recourses in guitar technique were analyzed together with a review of the main topics of the guitar acoustics and psychoacoustics. An original methodology based on subjective tests and analysis of spectral components, describe the influence of the main factors in the guitar's timbre and loudness perception. The results show a loudness dependency to decay and transients at the beginning of the attack. The loudness of the guitar's recourses often used to increase the loudness such as *apoiado* attack, seems not to depend significantly of the timbre attribute.

# Capítulo 1 - Introdução

## 1.1. Objetivos da pesquisa

As características do volume do violão e de seus antepassados têm sido uma temática recorrente de discussões e uma fonte dinâmica de desenvolvimentos e transformações na técnica e estrutura do instrumento. Ainda que seja um dos instrumentos mais populares do mundo, o violão parece ainda carecer de uma afirmação como instrumento capaz de lidar com as exigências musicais da tradição musical erudita e as exigências acústicas de grandes platéias e formações, caracterizadas por demandas de potência sonora considerável. As exigências estéticas da música erudita ocidental e do que chamamos *violão erudito*<sup>1</sup> impõem limites às transformações do som do instrumento para que ele se adapte às novas exigências, e não sem propósito, protegem uma tradição de clareza, precisão, sonoridade, técnica e musicalidade. O violão adaptado especificamente às exigências acústicas mencionadas começa a se tornar realidade com a aplicação da energia elétrica para a amplificação. Entretanto, assim que este violão passa a ser sistematicamente amplificado, o som amplificado rompe com uma tradição baseada em um dos parâmetros mais complexos e esteticamente definidos na música: o timbre. Discutiremos mais especificamente no Capítulo 4, como os sons podem ser caracterizados timbristicamente e como timbre depende de vários atributos, dentre eles o volume sonoro. A correlação entre as diferenças de estilo com as diferenças do timbre parece se repetir nas dicotomias históricas entre as guitarras e alaúdes, guitarras e

---

<sup>1</sup> O violão é um instrumento com muitas diferenças, inserido em várias culturas e com uma vasta variedade de tradições técnicas, e portanto características timbrísticas. No entanto trataremos as afirmações sobre o violão ou timbre do violão como sendo calcadas na tradição do chamado “violão clássico”, ou “violão erudito” e nas características técnicas e timbrísticas que ela encerra.

vihuelas, guitarras elétricas e violão clássico. Thomas Humphrey, um dos mais conceituados construtores da atualidade chega a mencionar que “*o mundo do violão clássico foi esquecido pelos melhores compositores do século XIX e começo do século XX, somente porque o violão não teve volume o bastante para ser um instrumento de orquestra*” (GERKEN, 2001).

Mesmo considerando as atuais possibilidades tecnológicas de incremento da capacidade sonora do violão os violonistas, em sua maioria, lidam com o volume sonoro disponível em seus instrumentos e com os contextos acústicos da performance através de um leque de elementos técnicos e musicais. Estes elementos permitem realizar diferenciações de intensidade (e.g. pianíssimo, fortíssimo) tão distintas quanto qualquer outro instrumento, ou mesmo uma orquestra sinfônica, mas com níveis de intensidade bem inferiores. Muitos destes elementos envolvem transformações contundentes no timbre que são relacionadas pela literatura violonística como sendo capazes de otimizar o volume ou aumentar a sensação de volume percebido. Na figura 1.1 observamos um exemplo destes elementos que ocorre à medida que a intensidade do *crescendo* no violão vai aumentando (eixo vertical) e outras frequências distribuídas no principalmente na parte mais alta do espectro vão se tornando mais presentes (eixo horizontal).

O timbre é um atributo multidimensional e dependente de vários elementos como altura, intensidade, duração e espectro. Neste sentido, observando a necessidade de uma abordagem que delimite as influências do timbre do violão sobre o volume percebido, propomos algumas questões pelas quais a abordagem deste trabalho se guiará: como de manipulação de timbres no violão afeta o volume? Qual a capacidade destes recursos técnicos violonísticos de gerar uma sensação de maior volume?

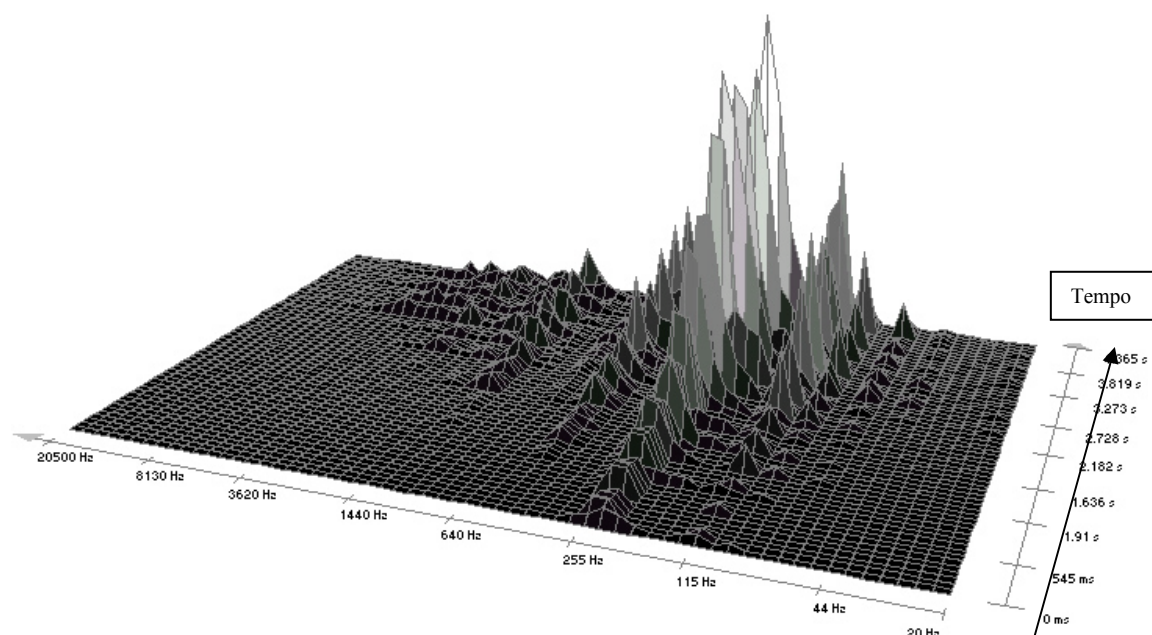


FIGURA 1.1: Espectrograma de um crescendo realizado pelo violão. Observamos que o aumento da amplitude (eixo vertical) durante o tempo é acompanhado de um alargamento lateral do conteúdo de parciais envolvidas na gama de frequências audíveis.

O presente trabalho aborda o problema do volume percebido utilizando metodologias da acústica e psicoacústica aplicada ao som do violão. Consideraremos elementos psicoacústicos como elementos referentes à percepção humana do som, neste caso limitado ao instrumentista e ao ouvinte; consideraremos como elementos acústicos os problemas de natureza física limitados à construção e desenvolvimentos dos instrumentos. Mesmo que a performance musical seja muito influenciada pela acústica do ambiente onde se desenvolve, questões que permeiam a acústica arquitetônica não serão abordadas neste estudo. Para uma melhor compreensão dos conceitos que serão aqui desenvolvidos, sugerimos uma leitura prévia do glossário localizado na página 186.

## 1.2. Métodos

Ao considerar a necessidade de ampliar os enfoques da pesquisa em direção à percepção dos eventos acústicos que concretizam o evento musical, a abordagem aqui apresentada se concentrará nas descrições físicas e psicofísicas que as questões apresentadas exigem. Volume percebido e timbre são dois atributos do som musical que vêm sendo estudados

sistematicamente a partir de metade do século XX, com a utilização de tecnologia de medição e processamento de sinais em amplo desenvolvimento que vão também ser utilizados na pesquisa.

A natureza multidimensional do timbre (HADJA et al., 1997; WINCKEL, 1967) e o comportamento não linear dos instrumentos musical têm sido considerados como os aspectos mais complexos no processo de descrição do comportamento dos instrumentos e sua interação com o instrumentista e o ouvinte. Metodologias como o controle científico das fases e materiais de construção de instrumentos ou a alteração de partes componentes de suas estrutura têm se mostrado como opções não viáveis e dispendiosas no estudo da acústica musical. Modelos computacionais têm se apresentado como soluções viáveis e de fácil manipulação, mas só recentemente estes modelos, físicos a princípio, têm considerado mais profundamente as relações entre o instrumentista e o instrumento e as dimensões psicofísicas envolvidas na avaliação do resultado sonoro destes modelos pelos ouvintes (WRIGHT, 1996).

Durante a pesquisa foram realizados vários testes psicoacústicos com o intuito de observar os efeitos das técnicas violonísticas, que são estratégias de diferenciação timbrísticas, sobre a percepção de volume. Elementos específicos de atributos físicos e psicofísicos do timbre do violão como características de ataque, transientes, sustentação e decaimento foram analisados e relacionados com a capacidade de provocar maior sensação de volume em testes auditivos.

## Capítulo 2 - História do Violão

### 2.1. Alaúde

No período renascentista, formas musicais vocais começaram a ser adaptadas para instrumentos solo e grupos instrumentais, tornaram-se muito populares e impulsionaram o desenvolvimento de instrumentos de todos os tipos. Dentre os instrumentos de cordas pinçadas o mais popular de todos foi o *alaúde*, que após um longo período de evolução chega ao século XVI na forma como hoje o conhecemos. A princípio a introdução do alaúde na Europa é creditada aos conquistadores árabes no Século VIII, ainda que outras influências como os Tártaros e Hunos possam ter trazido variantes asiáticas do alaúde, como o *pi-p'a* chinês (espécie de alaúde). Este alaúde de origem árabe, ainda é tocado praticamente em sua forma primitiva nos países árabes, como se fosse uma estagnação do estágio de evolução no ponto onde ele começou a florescer na Europa do século XVI, e que originou outros tipos de instrumentos.

Consideraremos neste trabalho o quadro evolutivo apresentado por HOEK (1977), exposto na figura 2.1, embora haja divergências historiográficas em relação às raízes históricas do violão, as quais serão devidamente ressaltadas.

Devido à grande variedade de instrumentos de cordas pinçadas tocados na Europa medieval, e que participam da história da evolução do violão, um mesmo instrumento era chamado de diversos nomes e o mesmo nome foi às vezes aplicado a vários instrumentos diferentes (EVANS & EVANS, 1990, pg. 16). A figura 2.2 ilustra os principais instrumentos que estão relacionados com o processo de evolução na família do violão.

FIGURA 2.1: Quadro evolutivo da família do violão. FONTE: HOEK (1977). Tradução do autor.

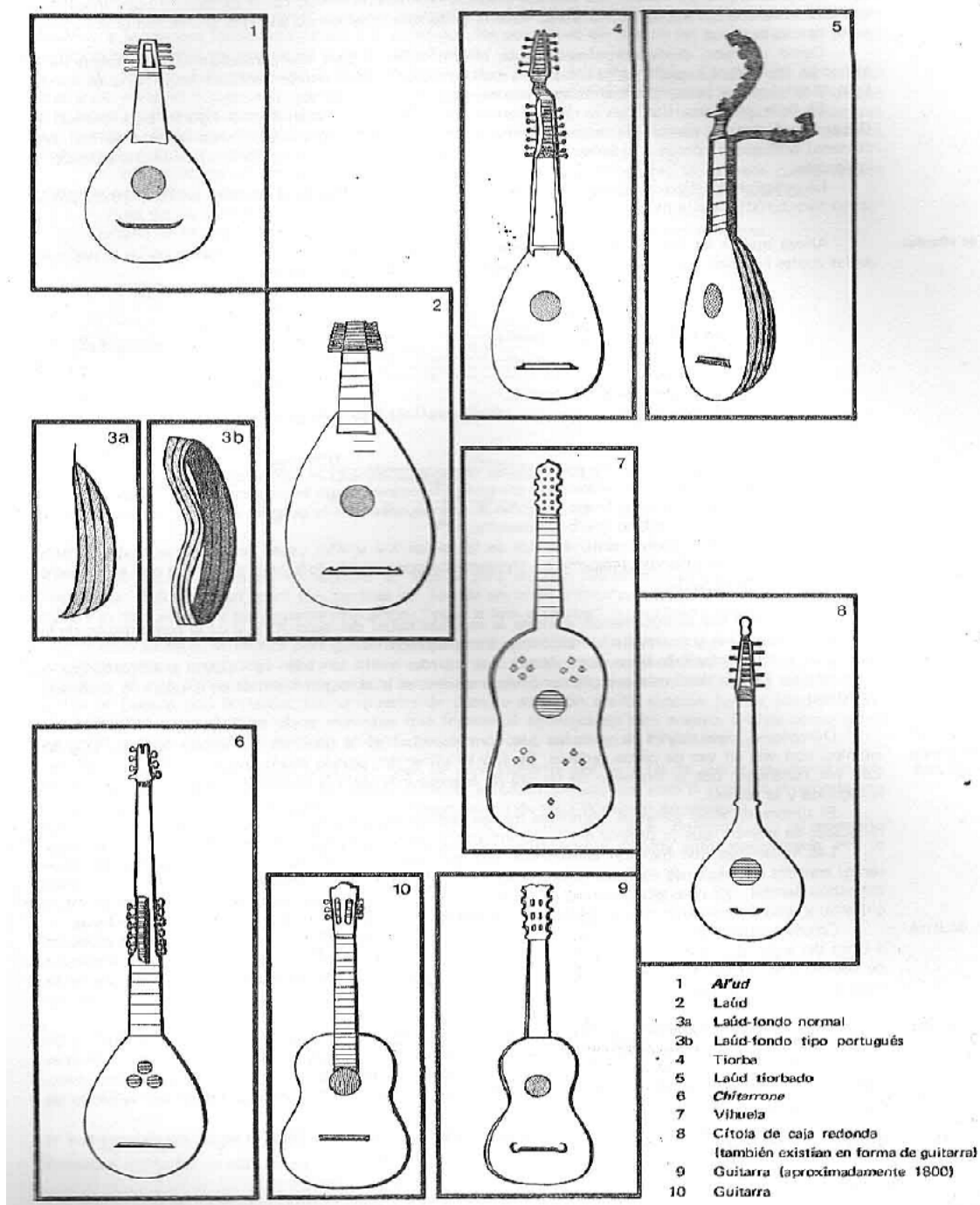


FIGURA 2.2: Instrumentos da família do violão. FONTE: HOEK (1977)

No entanto, podemos afirmar que nos séculos XIII e XIV, pelo menos duas espécies de instrumentos eram conhecidos como “guitarras”: a guitarra latina e a guitarra mourisca. No entanto, não existem claras definições sobre detalhes destes dois tipos de instrumentos. O poema *Libro del Buen Amor*, de autoria do poeta Juan Ruiz, sacerdote de Hita, citado por EVANS & EVANS (1977, p. 16), descreve alguns detalhes timbrísticos destes dois instrumentos:

*“There’s the guitarra moresca shouting and wailing,  
With high-pitched voice and sound all whining,  
The fat-bodied lute with its notes a-tripping  
The guitarra latina the other two joining.”<sup>2</sup>*

*“Existe a guitarra mourisca gritando e lamuriando  
Com uma voz aguda e som choraminguento  
O corpulento alaúde com suas notas enganosas  
A guitarra latina a se juntar aos dois.”*

## 2.2. Vihuela

Nos séculos XIV e XV a família das guitarras começou a ser designada por nomes como *guitarra*, *guitern*, *gittern*, *chitarra* e *guitar* ao mesmo tempo em que os termos *vihuela* (na Espanha) e *viola* (na Itália) eram usados para denominar uma grande variedade de instrumentos de corda que eram tocados com arco (*vihuela de arco*), outros com um plectro (*vihuela de peñola*) ou com os dedos (*vihuela de mano*), esta última que se desenvolveu em um tipo de guitarra (DUDEQUE, 1994; EVANS & EVANS, 1977).

DUDEQUE (1994) aponta a *vihuela* como o instrumento mais antigo relacionado ao violão moderno, tendo substituído o alaúde na Espanha e motivado a criação de um dos mais importantes repertórios de música instrumental da Renascença. O autor ainda afirma que a associação do alaúde com a cultura moura vista como um resquício da ocupação na Espanha, poderia ter ocasionado esta substituição. EVANS & EVANS (1977) afirmam que os termos *vihuela* e *guitarra* foram usados intercambiavelmente, mesmo significando instrumentos diferentes.

As diferenças entre a guitarra e a vihuela são apontadas por vários autores de época: Miguel de Fuenllana em seu *Orpheonica Lyra* inclui obras para a “*vihuela de quatro cordas que é chamada guitarra*”. Juan Bermudo coloca que a guitarra é mais curta do que a vihuela, mas a afinação permanece a mesma. Obras de época especificadas para guitarra também fornecem indícios de que a guitarra seria um instrumento menor, uma vez que certas passagens tocadas na vihuela exigiriam grandes aberturas da mão esquerda, de difícil execução, se tocadas em outros instrumentos (DUDEQUE, 1994).

O período de disseminação da utilização da vihuela foi relativamente pequeno, embora ainda tenha sido usada por um longo tempo. Segundo EVANS & EVANS (1977), o último relato de utilização de vihuelas data de 1633, sendo o surgimento da pequena *guitarra* a causa principal de seu desaparecimento. Embora somente um exemplar de vihuela tenha sobrevivido, a grande variedade de música de qualidade produzida em um intervalo de 41 anos, de 1536 a 1576, indica a importância, qualidade e abrangência deste instrumento neste curto espaço de tempo. A vihuela é considerada um instrumento aristocrático, a música composta para ela exigia um certo conhecimento e era impressa em bom material. Os principais compositores de música para vihuela desta época foram: Luis Milan, Luys de Narváez, Alonso Mudarra, Enriquez de Valderrábano, Francisco de Córdoba, Diego Pisador e Miguel de Fuenllana. Segundo DUDEQUE (1994) esta música representa o registro mais antigo de música composta para um instrumento do tipo de um violão.

## 2.3. Guitarra

EVANS & EVANS (1977) colocam que a menção mais antiga à guitarra ocorreu no tratado Musical de Johanes Tinctoris em 1487, que traz elementos que se tornarão constantes nos depoimentos a seguir: as relações guitarra e a figura feminina, guitarra e sentimentalismo, e a temática sempre pejorativa em relação ao timbre e principalmente ao seu volume sonoro:

*“Furthermore there is the instrument invented by de Catalans which some call guitarra and others the ghiterne.... The guitarra is used most rarely because of the thinness of its sound. When I heard in Catalonia, it was being used much more often by women, to accompany love songs, than by men.” (EVANS & EVANS, 1977, p. 131)<sup>3</sup>*

---

<sup>2</sup> Utilizaremos o texto original seguido da tradução do autor como formato padrão das citações com a origem em língua estrangeira.

<sup>3</sup> Citado da fonte original: BAINES, Anthony. Fifteenth-century instruments in Tinctori's De Inventionem et Usu Musicae 1487. *Galpin Society Journal*, vol. III, 1950.

*“Alem disso há um instrumento inventado pelos catalães o qual alguns chamam de guitarra e outros de ghiterne (...) A guitarra é usada mais raramente por causa da agudeza de seu som. Quando a ouvi na Catalunha estava sendo usada muito mais freqüentemente por mulheres, para acompanhar canções de amor, do que por homens”.*

Apesar disso, a guitarra tomou um papel importante na vida musical de várias classes da sociedade espanhola, auxiliada pelo uso intenso no teatro da época. Era um instrumento pequeno, barato e fácil de manejar. A adição de uma quinta corda fez da guitarra o instrumento ideal para acompanhar as baladas populares e danças e maioria os guitarristas de época tocava a música para este instrumento em estilo “rasgueado”<sup>4</sup>, mencionado pela primeira vez em 1596. Este estilo era fácil de aprender, e utilizava elementos muito mais “ruidosos” e sonoros, que conferiam uma compensação aos problemas com o volume do instrumento.

As primeiras edições de música para guitarra de cinco-ordens<sup>5</sup> de autoria de Juan Carlos Amat se tornaram bastante populares. Personagens pobres e “não-letrados” do poeta Vicente Espinel (1551-1624) e das obras de Miguel de Cervantes (1547-1616) ilustram as associações da guitarra com o popular: “*eles não tocam a aristocrática vihuela, eles rasgueam a pobre guitarra*” (EVANS & EVANS, 1977, p.132). A guitarra começa a adquirir uma associação com o vulgar, popular, iletrado e lascivo:

*“It is the ideal instrument  
For ladies of great learning  
Lascivious ladies also play,  
To show off their yearning”*

(EVANS & EVANS, 1977, p. 133)<sup>6</sup>

*“Este é o instrumento ideal,  
Para damas de conhecimento  
Damas lascivas também tocam  
Para exhibir os seus anseios “.*

---

<sup>4</sup> O rasgueado é um modo de tocar as cordas do violão muito comum na música flamenca, e mesmo na música popular em geral. Consiste em percutir várias cordas ao mesmo tempo com a ponta dos dedos da mão em movimentos para baixo e para cima.

<sup>5</sup> As ordens do instrumento são a representação das cordas. Cada ordem pode ter uma ou mais cordas muito próximas ao ponto destas serem pressionadas nas casas por um só dedo. Podem ser afinadas em oitavas ou em uníssono.

<sup>6</sup> Citado da fonte original: TRICHET, Pierre. *Traité de instruments*. 1630 – editado e publicado pela primeira vez por LESURE, François. *Annales Musicologiques*. Paris, 1955. vol. III e IV

Assim como na França e Espanha, na Inglaterra, mesmo que a aristocracia também tocasse guitarra como mostram algumas evidências, o instrumento era associado com práticas reprováveis pela sociedade inglesa do Século XVI:

*“Complains of the Merchants Adventures Company in Newcastle in 1554 over de ‘lewd liberty’ of their apprentices show that not all of English society approved of instrument. The list of the apprentices’ misdemeanors included ‘dicing, carding, and mumming, what tippling, dancing, and brazing of harlots...what use of gitterns at night – what wearing of beards.’”* (citado por EVANS & EVANS, 1977, p. 135)<sup>7</sup>

*“(...) reclamações da Merchants Adventurers Company em Newcastle em 1554 sobre a ‘liberdade lasciva’ de seus aprendizes mostra que nem toda a sociedade Inglesa aprovava o instrumento. A lista de termos pejorativos aos aprendizes incluía, ‘jogavam dados, carteado, que bebiam, dançavam, e mexiam com as prostitutas... que usavam estas guitarras à noite – que gemia insuportavelmente”.*

No final do século XVI a guitarra se torna bem conhecida na Europa ocidental embora continuasse a ser considerado um instrumento de menor qualidade em relação ao alaúde.

## 2.4. Século XVII

No início do século XVII a guitarra era tocada quase que somente em rasgueado. As cinco cordas duplicadas em oitavas a tornou ideal para o acompanhamento de canções populares. A popularização e associação da guitarra com instrumentistas viajantes, vagabundos e ladrões e a polarização com o alaúde aristocrático ajudaram a manter a má reputação da guitarra. A facilidade com que se podia aprender e afinar a guitarra em relação ao alaúde e a vihuela contribuiu para desqualificar a guitarra como instrumento erudito. No verbete “vihuela” de um dicionário da língua espanhola escrito pelo inquisidor espanhol Don Sebastián de Covarrubias Orozco em 1611, ele declara:

---

<sup>7</sup> Citado da fonte original: WOODFILL, Walter. *Musicians in English Society*, Princeton, 1953, p. 276.

*“This instrument has been highly regarded until the present time, and has had most excellent musicians, but since guitars were invented, those devoting themselves to a study of the vihuela are small in number. It has been a great loss, as all kinds of plucked music could be played on it: but now the guitar is no more than a cowbell, so easy to play, especially rasgueado, that there is no stable lad who is not a musician on the guitar”*

EVANS & EVANS (1977, p. 136).<sup>8</sup>

*“Este instrumento têm sido altamente respeitado até agora, e tem atraído os mais excelente músicos, mas desde que as guitarras foram inventadas, aqueles que se devotam a estudar a vihuela são menor em número. Tem sido uma grande perda, já que todo tipo de música para instrumentos de corda pinçada podia ser tocada nela: mas agora a guitarra não é nada mais do que um sino de vaca, muito fácil de tocar, especialmente o rasgueado, quê não há um rapaz que não seja um músico na guitarra”.*

Por outro lado, Luis de Briceño observa em 1626 sobre a guitarra:

*“...has none of the inconveniences to which the lute is subject; neither smoke nor heat nor cold or dampness can incommode it. It is always fresh as a rose. If it gets out of tune easily, it is just as easy to tune it again.”* EVANS & EVANS (1977, p. 136).<sup>9</sup>

*“... não tem as inconveniências às quais o alaúde está sujeito; nem fumaça, calor, frio ou umidade podem incomodá-la. Está sempre fresca como uma rosa. Se desafinar, é facilmente afinada de novo.”*

Na Itália, uma avalanche de livros de música para rasgueado aparece entre 1606 e 1629. Coleções de sonetos e madrigais são adaptadas para acordes simples e se tornam logo populares. Apesar de vários senhores de posses terem ornado suas guitarras com materiais caros, o público para a música de guitarra ainda continuava sendo instrumentistas humildes, atores e viajantes que tocavam suas guitarras em teatros públicos festas particulares ou nas beiras de estradas. A não adaptação à música culta da

---

<sup>8</sup> Citado da fonte original: OROZCO, Don Sebastian de Covarrubias. *Tesouro de la Lengua Castellana o Española*. 1611.

<sup>9</sup> Citado da fonte original: BRICEÑO, Luis de. *Método mui facilíssimo para aprender a tañer la guitarra a lo Español*. Paris, 1626.

época e a sua freqüente associação com marginais é evidenciada por Michael Praetorius em 1619:

*“Some have five courses, and are used in Italy by Ziarlatini and Salt’in banco [charlatans and mountebanks] only for strumming accompaniments to villanelles and other foolish low songs. Nevertheless it can be used to good effect in other graceful Cantiunculae and delightful songs by a good singer.”* (EVANS & EVANS, 1977, p. 137)<sup>10</sup>

*“Algumas têm cinco ordens, e são usadas na Itália por charlatões e Saltimbancos somente para acompanhamentos de Villanelles e outras canções idiotas de baixo calão. Todavia, ela poderia ser usada com bom efeito em outras graciosas Cantiunculae e canções encantadoras por um bom cantor.”*

Na Inglaterra a guitarra era popular entre os amadores aristocratas, estimuladas pelo contato com a corte Francesa durante o exílio provocado pela Guerra civil (1640-45). Samuel Pepys, um alaudista que encarava a guitarra com desdém, escreveu a respeito da visita de Francesco Corbeta (um dos maiores guitarrista italianos da época), a Charles II:

*“After dining with the Duke of York, and coming out through his dressing room I there spied Signor Francisco tuning his guitar and Monsieur de Puy with him...I was mightily troubled that all that pains should have been taken up on so bad instrument.”* (EVANS & EVANS, 1977, p. 139)<sup>11</sup>

*“Depois de jantar com o Duque de York, e saindo por seu quarto de vestir, lá observei o Signor Francisco afinando sua guitarra e Monsieur de Puy com ele... eu fiquei muito incomodado com o fato de que todo aquele esforço devesse ser gasto em um instrumento tão ruim”*

Francesco Corbeta volta à França em 1681, morre no mesmo ano, mas por sua influência, a guitarra se estabelece como um instrumento respeitável, originando posições regulares de músicos e professores de guitarra nas cortes da Europa. Na

---

<sup>10</sup> Citado da fonte original: PRAETORIUS, Michael. *Sintagma musicum. De Organographia*, vol. II, 1615-20, p. 53.

<sup>11</sup> Citado da fonte original: BRIDGE, F. *Samuel Pepys Lover of Musique* Londres, 1903, p. 79.

Inglaterra o público para a guitarra que Corbetta ajudou a estabelecer, encorajou músicos estrangeiros a buscar patronatos. Um destes músicos era Nicola Matteis, um virtuose violinista Italiano que tocava guitarra e trabalhou no ciclo das cortes da Inglaterra. Matteis era famoso por ser capaz de se “*manter em conjunto com um Cravo*”, o que ilustra as dificuldades com equilíbrio da guitarra para a música de câmara da época (EVANS & EVANS, 1977, p. 141).

A Espanha continua sendo o único país em que a guitarra, uma vez estabelecida, nunca perdeu seu apelo popular, mesmo que sujeita a flutuações no gosto das aristocracias. No começo do século XVII a guitarra espanhola não era mais um instrumento totalmente plebeu. Apesar das poucas referências, a lista de músicos da corte de Pedro Cerone, um nobre da corte de Madrid, incluía guitarristas. Na França do século XVI a guitarra de quatro ordens viveu um período de nobreza na corte de Henri II (1519-1559), rei da França, que fazia serenatas para sua esposa. Não só a aristocracia francesa tocava guitarra, mas os burgueses imitando os costumes da corte também começaram a utilizá-la. Mesmo assim, sugestões sobre a categorização da guitarra como um instrumento menor, são claramente observadas na introdução do livro de obras para guitarra de Somon Gorlier, publicado em 1551:

*“The Ancients were satisfied with such instruments as the Guitar.... Not that I claim to prefer it to other instruments, but at least, if merely in honor and memory of antiquity, I wanted to show that it had its own limits proper for reproducing music in two or three voices or parts as well as does a larger instrument.”*  
(citado por EVANS & EVANS, 1977, p. 134).

*“Os Antigos foram satisfeitos com instrumentos como a Guitarra (...). Não que eu declare preferir este a outros instrumentos mas pelo menos, em nome da honra e memória da antiguidade, eu gostaria de mostrar que este instrumento tinha seus próprios limites em reproduzir música a duas ou três vozes ou partes, assim como faz um instrumento maior”.*

Este depoimento levanta a questão da limitação na extensão e disposição das distâncias entre notas na família do violão, que normalmente exige um grande esforço técnico para realizar as escritas polifônicas da época. Certas combinações de notas ou regiões onde

estas notas estão dispostas no braço desfavoreciam ou mesmo impossibilitariam a execução nestes instrumentos. Estas limitações eram impostas pela arquitetura de sua construção, já que os limites estruturais tais como tamanho e tipo de madeira atendiam às necessidades de portabilidade e custo.

No século XVIII a guitarra começa a perder espaço, devido a suas limitações acústicas e técnicas.

*“In the first place the guitar’s position as a solo instrument for the amateur was successfully challenged by the harpsichord and pianoforte. Second, there was an increase in interest in chamber music where the guitar, with its smaller sound, could not compete. And third, the passion for opera which gripped both the Italians and Spanish later in the century utterly precluded the guitar’s use.”* (EVANS & EVANS, 1977, p. 144)

*“Em primeiro lugar, a posição da guitarra como instrumento solo para amadores foi desafiada com sucesso pelo cravo e depois pelo piano forte. Segundo, havia um crescente interesse por música de câmara onde a guitarra com seu som diminuto, não poderia competir. E terceiro a paixão pela ópera que arrebatou italianos e espanhóis no final do século impedindo totalmente o seu uso”.*

O reverendo Dr. John Brown registra a falta de interesse profissional pelo instrumento em um tratado de teoria musical:

*“...a trifling instrument in itself, and generally now taught in the most ignorant and trifling manner...while the theorbo and the lute, the noblest because the most expressive and pathetic of all accompaniments, are altogether laid aside. What is the reason for this? Because the guitar is a plaything for a child”* (EVANS & EVANS, 1977, p. 144).<sup>12</sup>

---

<sup>12</sup> Citado da fonte original: GRUNFELD, Frederic. The Art and Times of the Guitar. New York, 1969.

*“...um instrumento insignificante por ele mesmo, e agora ensinado geralmente na mais ignorante e insignificante maneira (...) enquanto a teorba e o alaúde, os mais nobres por serem os mais expressivos e emocionantes de todos os acompanhadores, são colocados de lado. Qual a razão para isto? Porque a guitarra é um brinquedo para uma criança”.*

No entanto, o processo de desaparecimento da guitarra não aconteceu de uma vez só, e por algum tempo ela sobreviveu com um status de instrumento da aristocracia, onde as Pinturas de Antoine Watteau (1684-1743) e Nicolas Lancret (1690-1743), ainda mostram a guitarra como um perfeito “brinquedo romântico”, presente nos jogos de sedução e nas posturas elegantes da aristocracia, como ilustrado pela figura 2.3. Em 1771, Dr. Charles Burney em um artigo sobre a música da época na França e Itália dizia “é difícil que haja uma família em uma nação civilizada sem sua flauta, seu violino, seu cravo e sua guitarra” (EVANS & EVANS, 1977, p. 144).



FIGURA 2.3: Quadro “Pierrot Content” de Antoine Watteau.

No Meio do século XVIII a Encyclopédie registrava este interesse:

“The sound of this instrument is so gentle, that the greatest silence is necessary to experience all the subtleties of a good player. It is made to be played alone, or to accompany a voice with similar instruments. (EVANS & EVANS, 1977, p. 144)<sup>13</sup>

*“O som deste instrumento é tão suave que um enorme silêncio é necessário para se observar todas as sutilezas de um bom guitarrista. É feito para se tocar sozinho, ou para se acompanhar a voz com instrumentos similares”.*

Na Itália, as guitarras continuavam sendo tocadas por músicos itinerantes enquanto as classes mais altas desenvolviam a paixão pela ópera de cujo cenário a guitarra não participava devido a suas limitações de volume.

O século dezoito foi um período silencioso para o violão<sup>14</sup>, durante o qual pouca música séria foi composta para o instrumento.

## 2.5. O violão do século XIX

O século dezenove reserva para a guitarra grandes histórias de sucesso e um crescimento consistente em sua popularidade e notabilidade na Europa. O desenvolvimento de um novo e melhorado instrumento de seis ordens e seis cordas (uma corda por ordem), um novo interesse em suas possibilidades musicais impulsionado pelo novo estilo punteado de Padre Basílio<sup>15</sup>, e uma geração de virtuosos e prolíficos compositores para este instrumento foram os mais importantes fatores que contribuíram para o grande sucesso do violão neste século.

Segundo EVANS & EVANS (1977), os espanhóis Fernando Sor e Dionísio Aguado, foram os principais responsáveis pelo abrangente culto ao instrumento, conhecida na época como *guitaromanie* e que se estendeu por todo o século XIX por toda a Europa:

---

<sup>13</sup> Citado da fonte original: DIDEROT, Denis; d’Alembert, Jean LeRond. *Encyclopédie, ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers*. Paris, 1751-65, vol. VII, p. 1011

<sup>14</sup> A partir do séc. XIX utilizaremos sistematicamente a palavra violão pois neste período se cristalizam as características principais do violão moderno.

*“La guitaromanie was experienced throughout Europe, for the intimate nature of the instrument, together with its portability, made it the ideal instrument for the writers and musicians of the Romantic age.” (EVANS & EVANS, 1977, p. 153)*

*“La guitaromanie foi experimentada por toda a Europa, pois a natureza intimista do instrumento, aliada à sua portabilidade, tornaram-noo instrumento ideal para compositores e músicos da era Romântica”.*

Alem de Sor e Aguado, outros violonistas como Ferdinando Carulli (1770-1841), Matteu Carcassi (1792-1829) e Mauro Giuliani (1781-1829) foram alguns dos muitos violonistas que contribuíram com o desenvolvimento do gosto pelo violão. Além disso surgiu uma classe média com maior poder aquisitivo e nível cultural, tornando-se um público adequado que poderia consumir este tipo de música. O gosto pelo violão satisfazia performances em pequenas salas de Viena, noites musicais em Londres, Paris, e grandes concertos em salas públicas onde os virtuosos pasmavam suas platéias com seu espetáculo técnico. Muitos dos instrumentistas que se estabeleceram em Viena e Paris vinham originalmente da Itália, país que no começo do século parecia exercer uma considerável atração para os violonistas. A popularidade do instrumento especialmente em Nápoles e a não adequação do instrumento nas casas de ópera, intensificou a competição por públicos.

Apesar de tanta popularidade, depoimentos relacionam ainda o violão à sua antiga posição de instrumento desprivilegiado:

*“..., a newspaper was commenting that his playing [Mauro Giuliani] was changing the instrument’s status from a “frivolous gallant music-box” to something worthy of serious consideration.” (EVANS & EVANS, 1977, p. 156).*

*“(…) um jornal estava comentando que sua performance [de Mauro Giuliani] estava mudando o status do instrumento de uma ‘caixinha-de-música galante e frívola’ para algo digno de séria consideração.*

---

<sup>15</sup> Padre Basílio foi um organista no Palácio Escorial que se tornou professor de guitarra de vários aristocratas espanhóis.

Mauro Giuliani morre em Nápoles em 1829, e nem mesmo seu obituário escapa de um discreto e talvez ingênuo insulto ao violão: “o violão foi transformado em suas mãos em um instrumento similar à harpa, acalmando docemente o coração dos homens” (EVANS & EVANS, 1977, p. 157).<sup>16</sup>

No final do século XVIII, com a crescente utilização do pianoforte, a popularidade do violão passa a ser ameaçada. “The Giulianidad”, uma revista inglesa publicada a partir da atuação de Mauro Giuliani, publica o artigo “A respeito dos méritos comparativos do pianoforte e violão, como acompanhamento para a voz”, o qual descreve um embate entre os dois instrumentos:

*“The Giulianidad stated the case for the guitar as the ideal accompanying instrument: though less powerful an instrument, it was sweeter and had more variety, was easily tuned, and well adapted to the voice. It was easy to extemporize on tunes originally written for the piano – a dangerous claim, since extemporizing often meant the eternal strummed chords. It taught the performer to play with feeling, due to the great variety of tones that could be produced. Finally, it was portable compared to the piano, ‘whose unwieldiness may prove rather a cumbersome escort in a short journey to the country’” (EVANS & EVANS, 1977, p. 157)*

*“The Giulianidad coloca o violão como o instrumento acompanhador ideal: embora um instrumento menos potente, era mais doce e tem mais variedade, era facilmente afinado, e bem adaptado para a voz. Era fácil de improvisar em melodias originalmente escritas para piano – uma alegação perigosa, uma vez que improvisação normalmente significava os eternos acordes rasgueados. Ensinava o violonista a tocar com sentimento, devido à grande variedade de timbres que poderiam ser produzidos. Finalmente, era portátil comparado com o piano, ‘cuja imobilidade pode se revelar uma companhia desajeitada em uma pequena viagem ao campo”.*

Também encontramos o mesmo tipo de justificação em um livro didático para guitarra escrito por Flamini Duvernay:

---

<sup>16</sup> Citado da fonte original: HECK, T. F. *The birth of the classical guitar* [s.d.] p. 127.

“The guitar possesses many important advantages in addition to portability, among which may be enumerated, facility of tuning, Graceful and Elegant Position of the Player, and sweet Tone, which sounds with great effect in garden and Boating Parties, as well as at Home; forming a delightful accompaniment to the voice at all times.” (EVANS & EVANS, 1077, p. 157)<sup>17</sup>

*“O violão possui muitas vantagens importantes além de sua portabilidade, dentre as quais podem ser enumeradas, a facilidade de afinação, a graciosa e elegante posição do violonista e o timbre doce, que soa com grande efeito em jardins e festas em barcos, assim como em casa; constituindo um prazeroso acompanhamento para a voz em qualquer ocasião”.*

O mesmo artigo discute o problema da limitação de volume e oferece conselhos para os instrumentistas, objetivando fazer o instrumento soar com maior volume:

*“Playing generally in a large room, they naturally wish that every part of the audience should hear, and in doing this they wholly mistake the manner in which it be successfully effected. They pull the strings with so much force, for the purpose of producing a loud tone, that, although they produce more noise, they in fact lessen the real tone of the instrument. A mere whisper, if the tone is sweet and compact, will find its way to every corner of a large theatre, while an overstrained string will produce a tone which will fall, so to speak, dead and lifeless”.* EVANS & EVANS (1977, p. 158)

*“Tocando geralmente em uma sala grande, eles devem naturalmente querer que cada parte da platéia ouça, e fazendo isso eles erram completamente na maneira pela qual isto pode ser realizado com sucesso. Eles puxam as cordas com tanta força, no propósito de produzir um som com volume que, embora produzam mais ruído, eles de fato reduzem o timbre real do instrumento. Um mero sussurro, se o timbre é doce e compacto, vai encontrar seu caminho para cada canto de um grande teatro, enquanto uma corda tencionada demais produzirá um timbre que cairá, como se diz, morto e inanimado”*

---

<sup>17</sup> Citado da fonte original: DUVERNAY, Flamini. *A complete Instruction Book for the guitar*. Londres, 1827.

Algumas invenções curiosas surgiram nessa época como uma reação dos violonistas as dificuldades encontradas com o violão. Uma delas foi o *tripodium* ou “Aguado Machine” (figura 2.4), um tripé inventado por Dionísio Aguado que sustentava o violão enquanto deixava as mãos livres. A idéia era eliminar o efeito de abafamento do corpo do instrumentista no corpo do violão, permitindo um volume maior e deixando o instrumentista mais livre. Outra controversa preocupação da época em relação ao aproveitamento da vibração do corpo do violão era com o dedo mínimo da mão direita apoiado ou não sobre o tampo de ressonância, o que é claramente um resquício do posicionamento da mão dos alaudistas, que costumavam apoiar o dedo mínimo para tocar as cordas com os dedos polegar e indicador alternadamente.



FIGURA 2.4: Dionísio Aguado com sua guitarra apoiada no Tripodium. FONTE: DUDEQUE (1994)

No meio do século, Londres era o centro do violão, onde diversos violonistas concertistas se estabeleceram. Dentre eles uma jovem Catherine Pelzer que ficou famosa como concertista e mais tarde como Madame Sidney Pratten ganhou notoriedade como professora da nobreza vitoriana. O lugar ocupado pelo violão na sociedade, talvez não tão erudito, mas ainda sim elegante é descrito por EVANS & EVANS (1977, p. 159):

*“...it was always Madame Pratten’s desire to maintain the prestige of the guitar...she dreaded the Idea of her instrument becoming in any way vulgarized, and insisted upon it keeping its place exclusively in the gentlewoman’s drawing room” (EVANS & EVANS, 1977, p. 159)<sup>18</sup>*

*”Foi sempre o desejo de Madame Pratten manter o prestígio do violão...ela temia a idéia de seu instrumento se tornar de alguma forma vulgarizado, e insistia em manter seu lugar exclusivamente no quarto de vestir das damas”.*

## 2.6. O violão Moderno

O conceito de violão moderno, como é concebido hoje em dia, é reconhecível nos instrumentos construídos pelo espanhol Antonio Torres (1817-1892), e embora informações biográficas sobre ele sejam escassas, os avanços realizados por Torres são claros: o alargamento do corpo e o desenvolvimento do leque de varetas que estrutura o tampo. Estas mudanças proporcionaram aos instrumentos de Torres um som bem mais forte e rico que seus antepassados e uma maior resposta tonal, sendo superior a qualquer instrumento de sua época. Com o surgimento das cordas de Nylon, a possibilidade de aumentar a tensão das cordas sem, contudo, alterar seu diâmetro, possibilitou o aumento de potência e qualidade do som, apesar da clara diferença timbrística entre cordas de nylon e as antigas cordas de tripa. No entanto a tensão nas cordas proporcionada pelo Nylon exigiu mudanças estruturais na construção do instrumento. Tapos mais rígidos e espessos e leques mais estruturados foram necessários para adaptar o instrumento às novas exigências mecânicas.

O início do interesse pelo violão clássico moderno é creditado a Francisco Tárrega (1852-1909). Tárrega cristalizou alguns elementos técnicos que permanecem até hoje como o “ataque apoiado” e o abandono do apoio do dedo mínimo sobre o tampo. Dois alunos de Tárrega, Miguel Llobet e Emílio Pujol, também contribuíram significativamente para a evolução do violão moderno. Apesar da oposição de Tárrega,

---

<sup>18</sup> HARRISON, Frank Mott. *Reminiscences of Madame Sidney Pratten*. Londres, 1899, p. 71.

Llobet passa a tocar com unhas o que representa uma grande transformação timbrística que só se difundirá a partir da utilização do Nylon nas cordas.

No século XX a grande figura no violão clássico foi o espanhol Andrés Segóvia. Autodidata, Segóvia influenciou toda uma geração de violonistas, era um incansável transcritor de música antiga e encorajava sistematicamente os compositores modernos a produzirem repertório para o violão. Pela qualidade de sua performance e por sua personalidade, soube explorar o potencial de sua habilidade para persuadir as pessoas das potencialidades do instrumento. Em um relato sobre suas performances para grandes platéias, Segóvia descreve sua abordagem ao problema de limites de volume do instrumento:

*“...my idea always is to reduce this enormous quantity of people to the intimacy of eight or ten persons. To obtain from audience the quality of silence and attention that the guitar needs and then transform the whole audience into an intimate gathering.”*  
(EVANS & EVANS, 1977, p. 164)<sup>19</sup>

*“... minha idéia é sempre reduzir essa enorme quantidade de pessoas para a intimidade de oito ou dez pessoas. Obter da platéia a qualidade de silêncio e atenção que o violão demanda e então transformar toda a audiência em uma reunião íntima”.*

No século XX surgem os violões e guitarras elétricas, as possibilidades de amplificação, o desenvolvimento de equipamentos de gravação e reprodução de alta fidelidade. Ao mesmo tempo os alaúdes, vihuelas e guitarras antigas ressurgem em performances históricas reconstruindo práticas antigas.

O violão torna-se um instrumento extremamente popular, variado, multi-estilístico, multi-cultural, e socialmente distribuído. Entretanto, apesar de tantas transformações, as limitações de volume continuam ainda sendo uma das principais preocupações dos violonistas e luthiers, em uma época na qual a evolução dos instrumentos acústicos tradicionais chega a uma quase estagnação. Novas possibilidades, desenvolvimentos e transformações nestes instrumentos acústicos afetarão diretamente o nível de volume

---

<sup>19</sup> Citado da fonte original: CLINTON, George. Segovia. *Guitar*. 1974.

sonoro deste instrumento, e serão propostas como resultado principal da evolução do estudo da acústica dos instrumentos musicais, que será discutida capítulo a seguir.

## Capítulo 3 - Acústica do violão

### 3.1. Anatomia do violão

O violão como hoje o conhecemos estrutural e visualmente, foi pela primeira vez desenvolvido no final do século XIX por Antonio Torres Jurado (1817-1892). Poucas modificações foram acrescentadas e universalizadas depois de Torres. A figura 3.1 descreve a estrutura geral do violão.

O esquema proposto por ROSSING (1990) e mostrado na figura 3.2, apresenta um modelo simples que situa os elementos estruturais de maior relevância na produção sonora do violão, em duas regiões de frequência distintas. Utilizaremos esta proposta como norteador da descrição dos processos e elementos envolvidos na produção do som no violão. Por este modelo, quando o tampo superior transmite a energia das frequências baixas para o tampo inferior e para a abertura via cavidade de ar, a ponte participa como uma parte integrante da estrutura do tampo superior. Nas frequências altas o som é quase totalmente radiado pelo tampo superior e neste caso a ponte atua como principal transmissor de energia das cordas para o tampo, desvinculando-se portanto da estrutura do tampo (ROSSING, 1990).

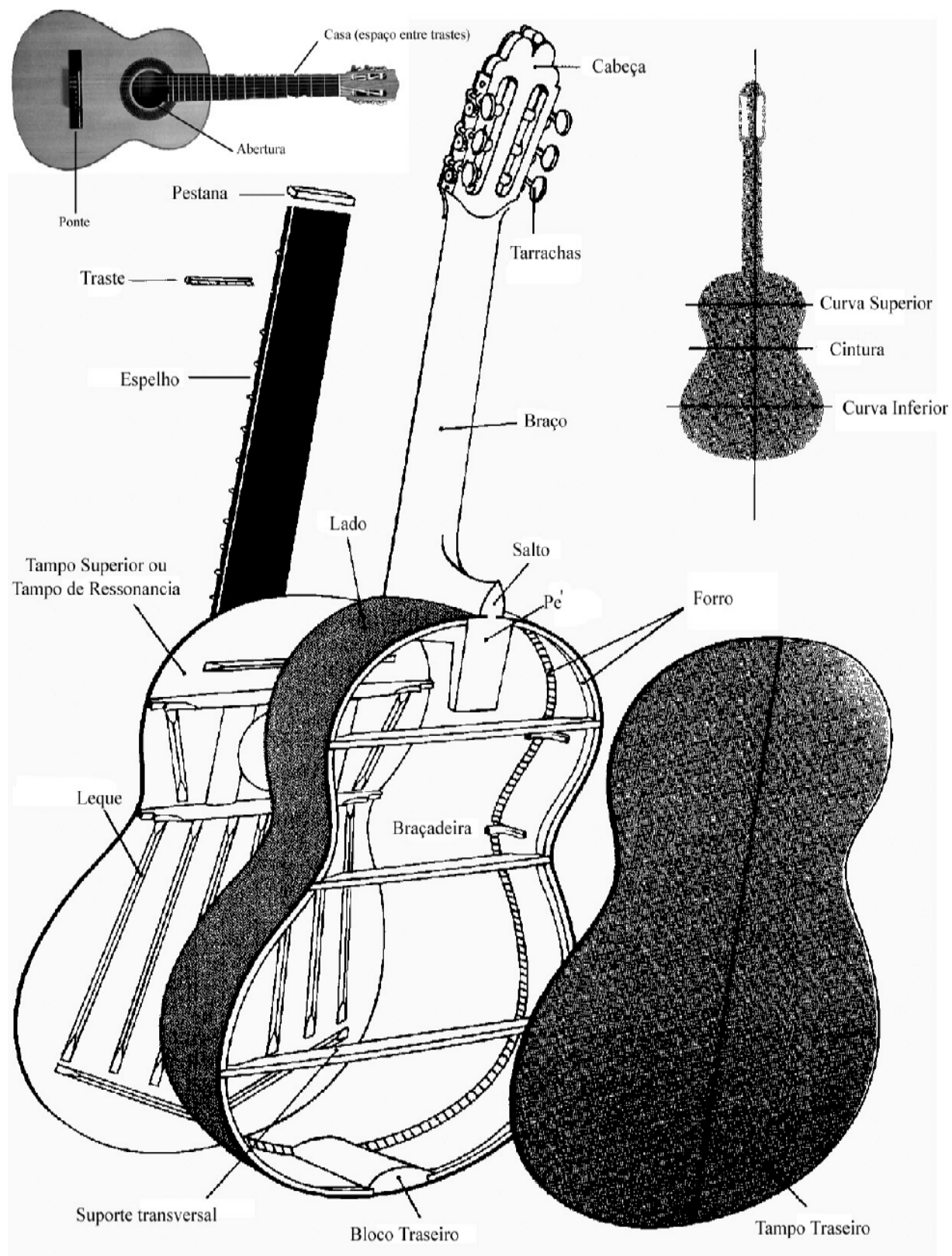


FIGURA 3.1: Diagrama explodido do violão. FONTE: WRIGTH (1996)

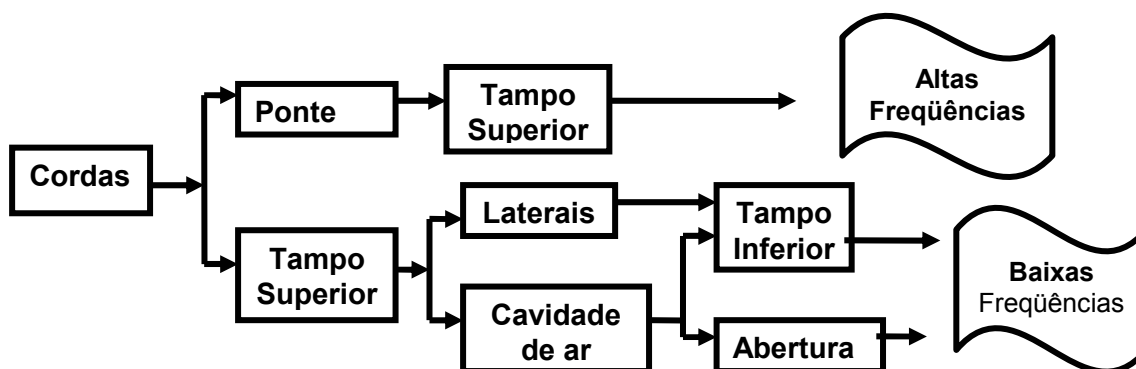


FIGURA 3.2: Modelo físico do violão proposto por ROSSING (1990)

### 3.1.1. O tampo superior e a ponte

O movimento do corpo do violão é mais complexo que o das cordas. Entretanto, assim como o movimento das cordas pode ser considerado como uma série de vibrações simples, o movimento do corpo do violão também pode ser analisado como *modos de vibração* individuais, que acontecem simultaneamente com amplitudes diferentes. Cada modo pode ser associado a uma única frequência de ressonância. Tais ressonâncias têm profundas implicações nas características acústicas do instrumento, e podem ser facilmente observadas através de uma técnica denominada “tap tones”, muito popular no trabalho dos construtores de instrumentos de corda em geral. Esta técnica consiste na estimativa auditiva das frequências de ressonância de um tampo ou pedaço de madeira, percutindo-se o material com o punho.

No modo fundamental ou primeiro modo ilustrado pela figura 3.3 (a), as vibrações estão concentradas na parte de baixo do tampo. Neste modo a ponte se movimenta para baixo e para cima sem se flexionar e a radiação é mais eficiente porque, funcionando como se fosse um alto-falante, movimenta uma grande quantidade de ar por toda a área do tampo e dentro do violão (como uma “respiração” do violão). A figura (b) mostra o segundo modo que ocorre em uma frequência superior à do primeiro. Neste modo o tampo é dividido por uma linha nodal (linha com deslocamento mínimo), apresentando duas áreas vibrantes em fases opostas. A ponte ainda se mantém rígida se movendo de um

lado para o outro. A radiação deste modo é menos eficiente porque enquanto um modo pressiona o ar o outro realiza o movimento contrário cancelando parte da pressão do ar na direção oposta. Nestes dois modos o movimento é limitado por uma barra de madeira abaixo da cavidade do tampo. Em uma frequência mais alta, o terceiro modo (c) divide o instrumento transversalmente por uma região nodal perto da ponte. Uma boa construção tende a evitar que esta linha nodal fique diretamente abaixo da ponte o que inibiria as vibrações da corda, não transferindo satisfatoriamente energia para este modo. Apesar das duas regiões deste modo vibrarem em fases opostas (da mesma forma que o segundo modo [b]), a área vibrante do modo situado na parte superior do tampo é maior que a região do modo na parte inferior, o que assegura uma diferença de radiação de energia que provoca um bom deslocamento de ar. As características do quarto modo (d) também provocam um bom deslocamento de ar.

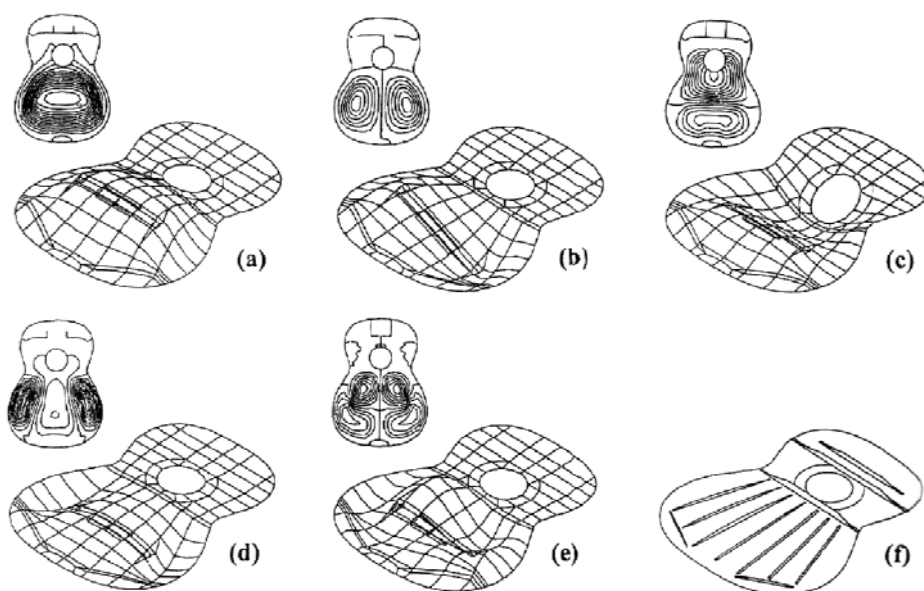


FIGURA 3.3: Contornos dos cinco primeiros modos de vibração do tampo superior do violão. O leque utilizado para o calculo dos movimentos é descrito na figura (f). O movimento descrito está exagerado para melhor visualização sendo o movimento real da ordem de micra. FONTE: RICHARDSON (1994, p.4).

RICHARDSON (1994) afirma que o primeiro, segundo e quarto modos são responsáveis pela a maior parte da radiação de som do violão em todas as frequências. Em frequências mais altas, o tampo se subdivide em áreas cada vez menores com muitas deformações e pouca radiação de som. Nestes modos de frequências mais altas a ponte passa a interferir no processo de transferência de energia vibratória entre corda e tampo de maneira diferenciada, como evidencia o modelo proposto por ROSSING (1990) na

figura 3.2. Em modos com frequências mais baixas a ponte não influencia o contorno dos modos, se inserindo totalmente dentro das áreas vibrantes. A figura 3.4 mostra a inserção da ponte nas áreas vibrantes dos modos mais graves (parte superior da figura) e sua exclusão das áreas vibrantes dos modos de alta frequência (parte inferior da figura). Estas análises foram realizadas pela técnica de interferometria holográfica que utiliza métodos a laser para realizar um mapeamento das microvibrações do tampo.

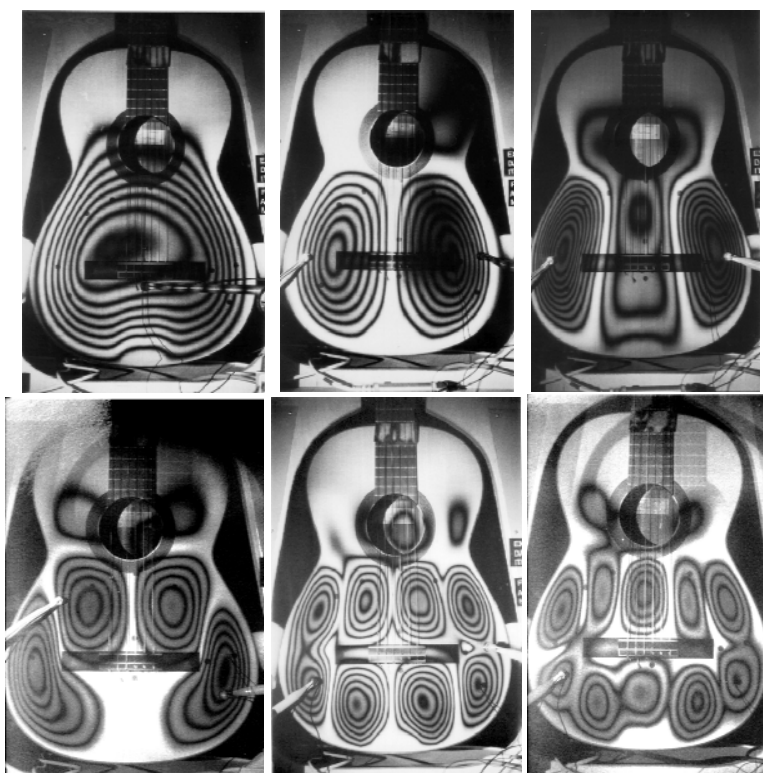


FIGURA 3.4: Análises dos modos do violão. FONTE: RICHARDSOM (1994)

### 3.1.2. Cavidade de ar

As ressonâncias mais graves do violão estão muito relacionadas com o movimento casado dos tampos superior, inferior, laterais, e a cavidade de ar. No modo mais grave da cavidade de ar, ela funciona como um *Ressonador de Helmholtz*. Neste tipo de sistema vibrante a massa do ar serve como um “pistão” com uma espessura de aproximadamente 0.85 vezes o diâmetro da abertura de ar (ROSSING, 1981, p. 63) e a compressibilidade do volume dentro da caixa como uma “mola” (ROSSING, 1990, p. 22). A frequência de ressonância é determinada pelo volume da cavidade (caixa do violão) e pelo diâmetro do bojo. Os outros modos mais agudos presentes dentro da cavidade funcionam como

se fossem ondas estacionárias em uma caixa retangular e vão influenciar a resposta de todo o instrumento.

### 3.1.3. Radiação do som

Em baixas frequências grande parte da radiação do som no violão é realizada pelo tampo superior, tampo inferior e bojo. Nestas frequências onde as dimensões do instrumento são menores que os comprimentos de onda do som<sup>20</sup> o violão radia como uma fonte pontual produzindo uma radiação quase esférica. Em frequências altas, onde as dimensões do instrumento são maiores que os comprimentos de onda, a radiação do som torna-se mais complexa (WRIGHT, 1996, p. 61).

Na figura 3.5 observamos que no primeiro modo (a) uma grande área do tampo se move deslocando grande quantidade de ar de forma quase esférica. No segundo modo de vibração (b) as duas áreas vibram em fases opostas e se cancelam, resultando em pouca radiação na frente do instrumento. O mesmo efeito ocorre de forma diferenciada no terceiro modo (c), no qual o cancelamento está no sentido do eixo transversal do instrumento (os experimentos foram realizados com o violão posicionado verticalmente). Em modos com frequências mais altas as radiações nas várias superfícies vibrantes no corpo do violão, produzem padrões mais direcionais.

Estas medidas foram realizadas a partir da aplicação de uma força dinâmica senoidal em pontos específicos do tampo do violão, desta forma as disposições dos padrões de configuração de radiação observadas diferem daquelas produzidas pela ação de vibração das cordas.

---

<sup>20</sup> A frequência fundamental da nota mi 2 (82,41 Hz), produzida pela corda solta mais grave tem um comprimento de onda no ar de aproximadamente 4 metros.

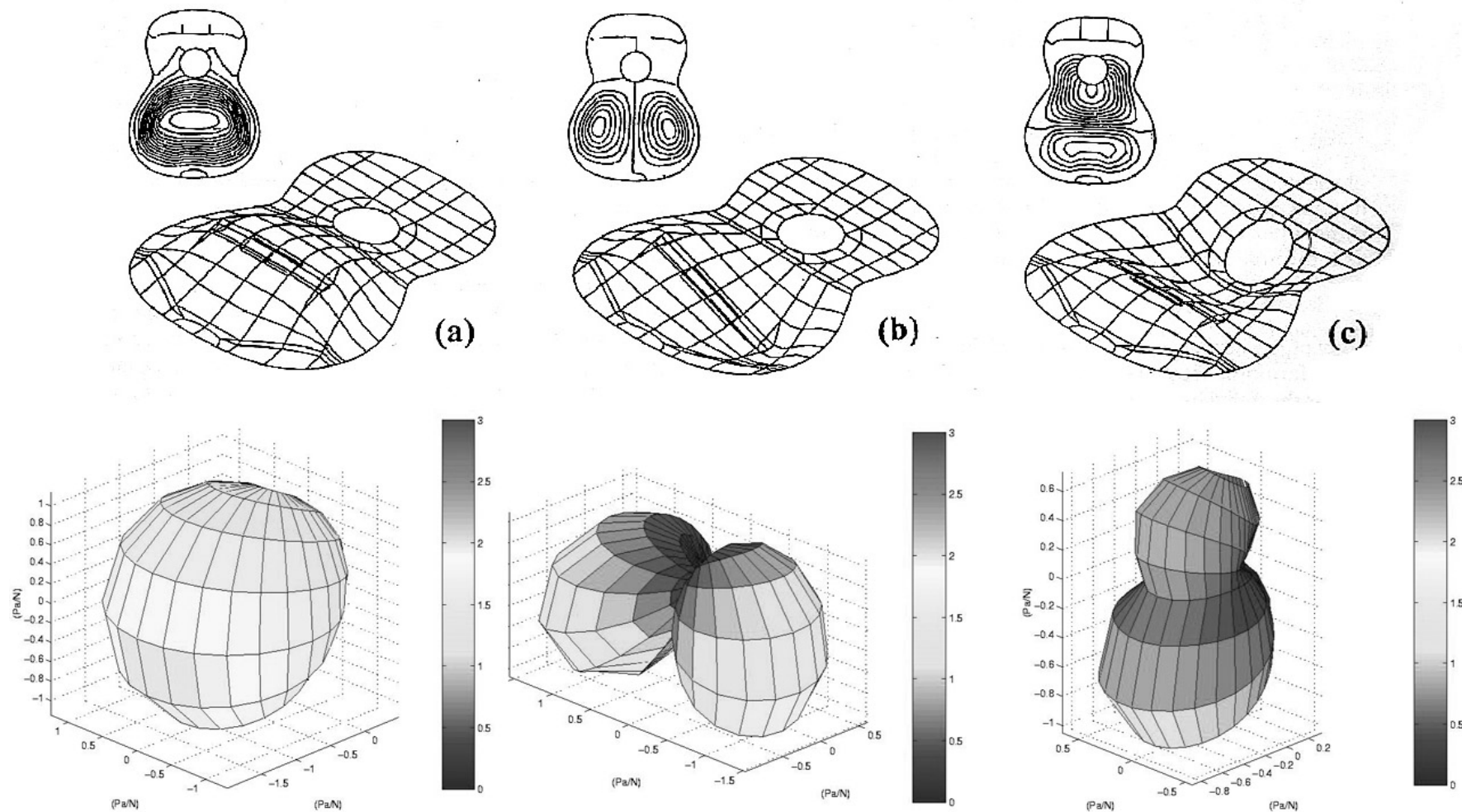


FIGURA 3.5: Modos do tampo e respectivas análises de radiação de campo. Os gráficos mostram medições de pressão por unidade de força aplicada realizadas pelo Professor Richardsom na Universidade de Cardiff (Disponível em < <http://www.astro.cf.ac.uk/groups/acoucomp/> > ).

### 3.1.4.O leque

No vocabulário coloquial dos instrumentistas e construtores a palavra leque designa a estrutura de suportes de madeira colocada abaixo do tampo, como os exemplos ilustrados pela figura 3.6. Entretanto existem formas de estruturação destes suportes que não têm a forma de “leque”, mas permanecerão com a mesma designação. Ao contrário do senso comum, a função dos leques não é transmitir as vibrações da ponte para o resto do corpo, mas sim aumentar a rigidez do tampo. Esta rigidez se faz necessária pela redução da espessura e peso do tampo e para sustentação da tensão que as cordas modernas imprimem ao tampo.

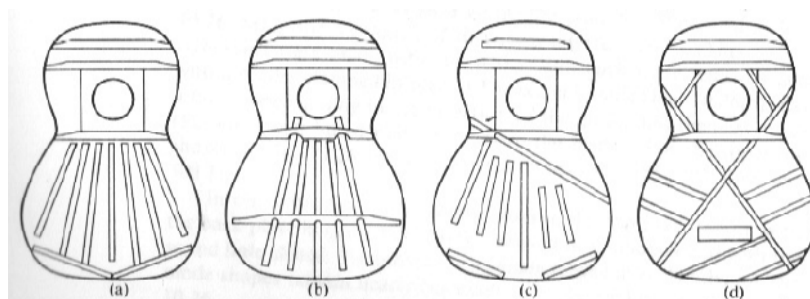


FIGURA 3.6: Principais tipos de leque : a) leque tradicional b) Bouchet (França) c) Ramirez (Espanha) d) Leque atravessado. FONTE: ROSSING (1990)

A colocação de qualquer elemento de rigidez no tampo em posições perpendiculares ou mesmo diagonais à direção das cordas tem muita influência na forma dos modos pois introduzem uma assimetria na rigidez da madeira que por sua vez transformam o contorno das linhas nodais, como mostrado na figura 3.7. A assimetria criada entre as linhas nodais da esquerda e direita na figura citada, desequilibra as áreas de vibração destes modos, fazendo com que o cancelamento de energia do segundo modo, citado na seção 3.1.3 (ilustrado na figura 3.5[b]), seja minimizado. No leque longitudinal, o número de barras de madeira e sua distribuição não têm muita influência na forma dos modos até as altas frequências, mas são importantes para o balanço entre a rigidez transversal e longitudinal do tampo. Atualmente este elemento da estrutura do violão têm sido repensado em novas configurações e na aplicação de novos materiais, como veremos na seção 4.3.

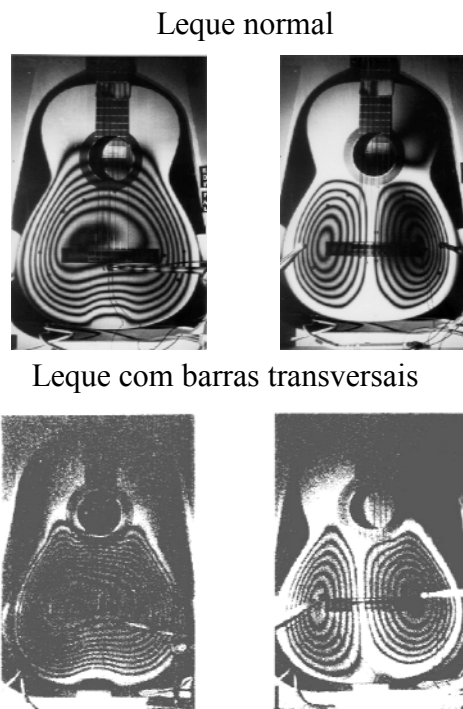


FIGURA 3.7: Efeitos na forma dos modos FONTE: RICHARDSOM (1994)

### 3.1.5. Propriedades físicas do corpo do violão

Com o desenvolvimento da acústica e das tecnologias de instrumentação e análise de parâmetros físicos as técnicas de construção do violão vêm se desenvolvendo de maneira diferenciada. Desde a primeira formulação tecnológica que se tem registro por Henri Arnout de Zwolle em 1440<sup>21</sup>, descrevendo as divisões do tampo superior, até as recentes análises por Interferometria holográfica (ilustrada na figura 3.4), a relevância e comportamento dos parâmetros físicos relacionados com a otimização do instrumento têm sido amplamente validados por construtores, pesquisadores e instrumentistas. Alguns destes parâmetros serão aqui abordados.

#### Resposta em frequência

É medida a partir da pressão sonora radiada pelo corpo do violão enquanto é aplicada sobre ele uma força dinâmica senoidal com frequência de variação dentro da gama de frequências audíveis – 20 a 20000 Hz. Estas medições indicam como a estrutura do violão responde a cada frequência e são consideradas uma espécie de “assinatura” do

instrumento, uma vez que a disposição das áreas de maior ou menor resposta depende da estrutura e do material com que cada instrumento em particular é construído.

Estas medições são feitas em ambientes sem reflexões (*câmaras anecóicas*, nas quais a reverberação é mínima) já que a reverberação altera significativamente os resultados da medição. Um exemplo de gráfico resultante destas medições é apresentado como exemplo na figura 3.8.

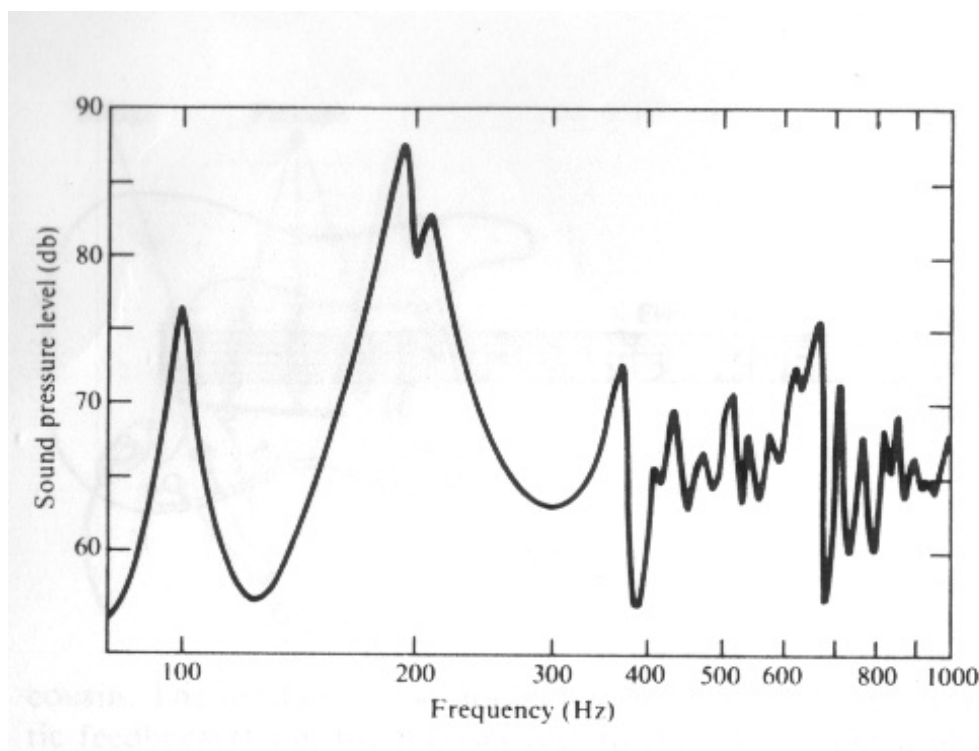


FIGURA 3.8: O eixo vertical apresenta a amplitude da resposta da pressão sonora de resposta. O eixo horizontal dispõe em escala logarítmica as frequências do vibrador. FONTE: ROSSING (1990)

Os primeiros picos observados na figura 3.8 estão relacionados com as frequências de vibração dos principais modos do tampo superior, e são os principais indicadores das características do timbre do instrumento. A disposição destes picos faz com que, por exemplo, um instrumento tenha um timbre grave, quando os picos se situam em regiões de baixas frequências, ou indicam um instrumento com resposta equilibrada em todas as notas, quando ficam mais distribuídas. Da mesma forma, as frequências dos principais modos de vibração indicam as diferenças de resposta para diversas notas do violão.

<sup>21</sup> CUPIANO (1980)

**Fator Q (fator de mérito ou qualidade)**

Na determinação das curvas de resposta de frequência de um sistema vibrante, se a amplitude atinge seu valor máximo  $A_{\max}$  a frequência de vibração  $f$  se iguala à frequência de ressonância  $f_0$  do sistema, onde ocorre a máxima transferência de energia como mostra a figura 3.9.

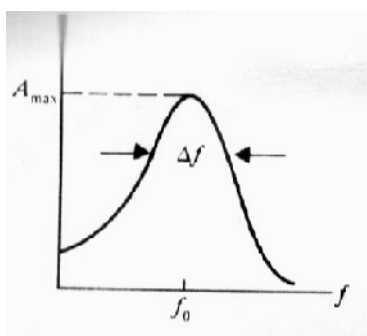


FIGURA 3.9: Ressonância de um sistema vibrante induzido por uma frequência  $f$  (FONTE: ROSSING, 1990, p. 54)

A largura da banda de frequência  $\Delta f$  (figura 3.9), também chamada de *bandwidth*, é normalmente medida a uma amplitude de 71% da amplitude máxima  $A_{\max}$  ( $A_{\max} / \sqrt{2}$ ). O Fator-Q é definido na equação:

$$Q = f_0 / \Delta f$$

Este valor indica a agudez da curva de ressonância e está relacionado com o equilíbrio da resposta do violão em diversas frequências. Ressonâncias com um fator-Q alto farão com que determinadas notas do violão tenham volume e timbre diferentes que outras. Por outro lado, ressonâncias com baixo Q tendem a espalhar a resposta do instrumento na gama de frequências.

**Razão área/massa efetiva**

A razão entre a área da superfície vibrante e a chamada *massa efetiva*, é um dos fatores mais relevantes na definição do timbre e principalmente da potência sonora do violão (WRIGHT, 1996). Muitas das tentativas e desenvolvimentos do violão nos últimos anos têm se baseado na otimização da razão entre estes fatores.

Por definição a massa efetiva (ou específica) de um modo de vibração é equivalente à massa de um pistão imaginário que produz a mesma resposta de um modo do violão quando excitado da mesma maneira. A área efetiva é definida como sendo a área equivalente a um pistão monopolar que, quando movido com a mesma velocidade do ponto de excitação, produz o mesmo deslocamento de volume líquido do modo de vibração a ele relacionado (PAVLIDOU, 1997).

A massa efetiva pode ser interpretada como representando a facilidade com que cada modo é colocado em vibração: uma baixa massa efetiva implica em uma maior amplitude de vibração e, conseqüentemente, em uma maior liberação de energia (WRIGHT, 1996). Uma construção “leve”, com tampos menos espessos favorece uma baixa massa efetiva ou massa vibrante, mas não está relacionada de maneira simples com a massa do tampo, ela pode variar de dezenas de gramas para o modo fundamental a dezenas de quilogramas quando a linha nodal se aproxima da ponte. Também afeta a rigidez da madeira necessária para a sustentação da tensão das cordas e produz uma considerável diminuição das frequências dos modos de vibração, o que pode prejudicar a extensão do violão (RICHARDSOM, 1994).

A área vibrante está ligada fundamentalmente com a área dos modos dos tampos e é proporcional à quantidade de ar deslocado pela vibração. Tampos com uma área maior deslocam quantidades maiores de ar, entretanto aumentam a massa efetiva e reduzem consideravelmente a rigidez do tampo se não houver um aumento da espessura.

### 3.2. Cordas

A maior parte dos instrumentos musicais gera ondas sonoras por meio de cordas vibrantes ou colunas de ar. Estes geradores são denominados por ROEDERER (1998) como *elementos vibrantes primários*, e os considera uma extensão natural do corpo do instrumento.

A vibração das cordas do violão pode ser considerada, a princípio, como análoga ao comportamento uma corda ideal com as extremidades fixas. Neste caso, quando uma corda é dedilhada ou percutida, dois pulsos opostos, ondulatórios, elásticos e transversais se propagam em direções opostas e são refletidos ao atingirem as

extremidades fixas da corda. Estas reflexões se superpõem e, se estas extremidades fossem realmente fixas e não houvesse perdas de energia, uma situação de ondas se propagando para frente e para trás se prolongaria para sempre.

Movimentos vibratórios como este são chamados *ondas estacionárias*, parecem não se mover em nenhuma direção, e são a única forma estável e possível de vibração em uma corda de extremidades fixas. Pontos onde a interferência destrutiva gera deslocamento nulo são chamados de *nodos*, e entre os nodos, nas regiões de interferência construtiva, encontramos os *antinodos*, onde o valor atinge seu deslocamento máximo (ilustrado na figura 3.10).

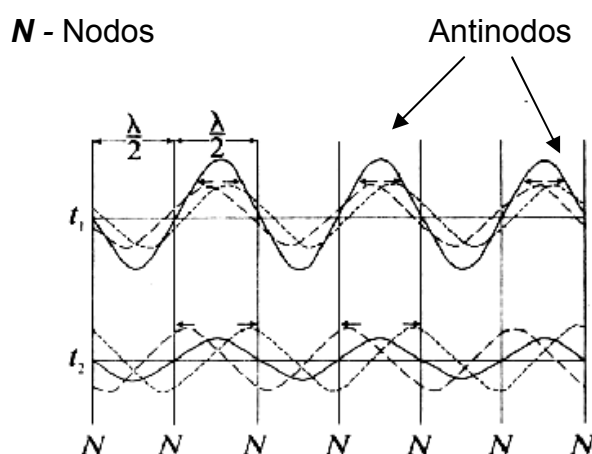


FIGURA 3.10: Nodos e antinodos em ondas estacionárias FONTE: ROSSING (1990, p.39)

As ondas estacionárias possíveis serão aquelas cujos nodos estejam nos pontos das extremidades fixas em posições que subdividam a corda em tamanhos iguais entre estas extremidades. Cada configuração destas ondas de comprimentos diferentes e que ocorrem ao mesmo tempo, é designada como um *modo de vibração*. O primeiro modo ou modo fundamental (frequência fundamental) é aquele com os dois únicos nodos nas extremidades das cordas, e os outros modos são os chamados *harmônicos superiores*, ou *parciais*, cujas frequências são múltiplos inteiros da frequência fundamental (figura 3.11). Como na realidade não existe rigidez total das extremidades a relação entre estas frequências não é exatamente por números inteiros, e por isso são designados “parciais”.

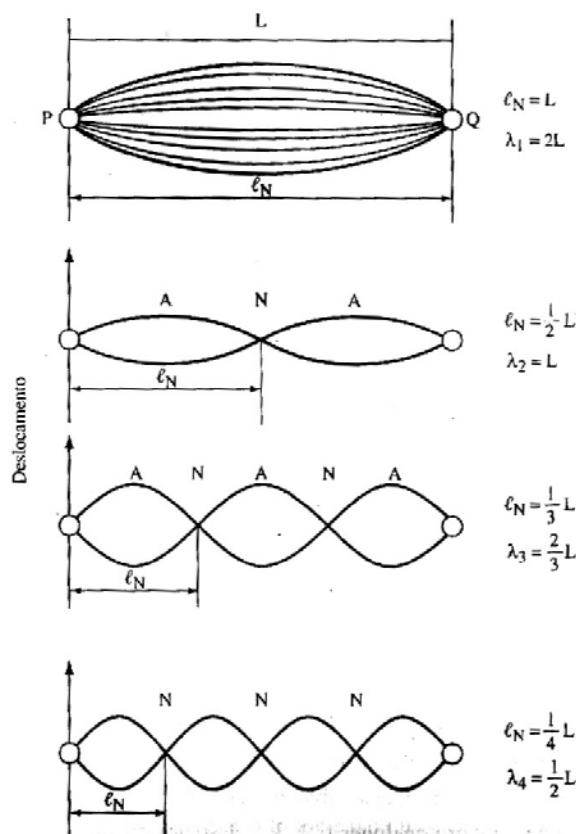


FIGURA 3.11: Modos de vibração de uma corda FONTE: ROEDERER (1998, p. 160)

Todos os modos atuam ao mesmo tempo em diferentes proporções que dependem principalmente da amplitude da força de excitação da corda (força do dedo) envolvida, e da posição na corda onde a força foi aplicada. A figura 3.12 mostra uma corda Lá (altura lá 2) com a fundamental em 110 Hz e seus primeiros harmônicos de 220, 330, 440 e 550 hertz. Nela estão indicados os nodos e antinodos de cada modo. Se a corda for tocada a um quarto de seu comprimento, a força aplicará o maior deslocamento ao segundo modo que têm um antinodo situado neste ponto, e deslocamento zero no quarto modo, que têm um nodo neste ponto (TAYLOR, 1990). Este ponto de ataque priorizaria o segundo modo e menos o quarto. Desta forma a posição de ataque no violão define a distribuição de energia entre os modos, pois cada ponto ao longo da corda vai excitar com maior ou menor intensidade cada modo, dependendo da posição mais próxima a um antinodo (maior intensidade) ou a um nodo (menor intensidade). Praticamente isto significa uma modificação no timbre resultante no violão onde uma aproximação do ataque na ponte gera uma sonoridade com parciais agudas mais presentes e uma aproximação do ponto

de ataque na metade da corda gera uma sonoridade onde os primeiros modos da corda (mais graves) são privilegiados.

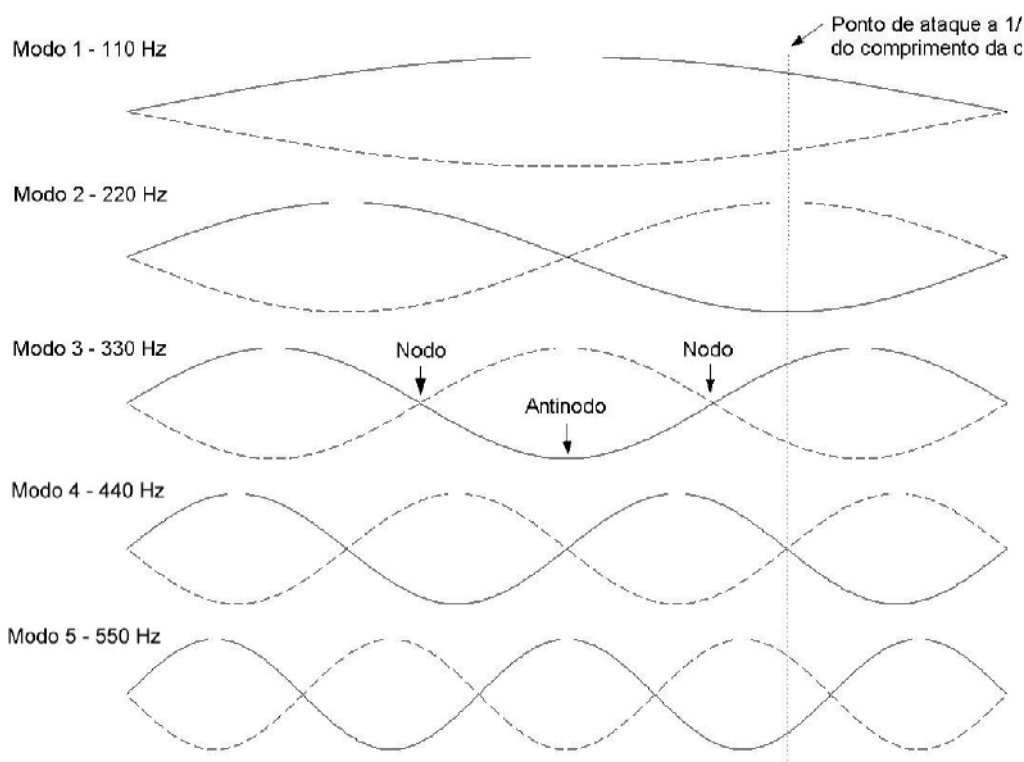


FIGURA 3.12: Modos de vibração da 5ª corda do violão e indicação da posição de ataque em relação à configuração de cada modo (lá 2).

### 3.2.1. Tipos de vibração da corda dedilhada

TOLONEN (1998), ROSSING (1990), PAVLIDOU (1997), TAYLOR (1990), entre outros autores, apontam três tipos básicos de vibração da corda: *transversal*, *longitudinal* e *torsional* (demonstrados na figura 3.13). Na vibração transversal a corda se move em torno de seu equilíbrio em um plano que é perpendicular ao da corda. Este tipo de vibração é normalmente dividido nos componentes vertical e horizontal, i.e., os movimentos paralelo e perpendicular ao tampo superior. Na vibração longitudinal a corda se move em torno de seu equilíbrio ao longo da corda. No tipo de vibração torsional a corda é rotacionada sobre seu eixo, e acontece quando, por exemplo, a corda é friccionada com a polpa das pontas dos dedos, forçando a rotação da corda sobre seu eixo.

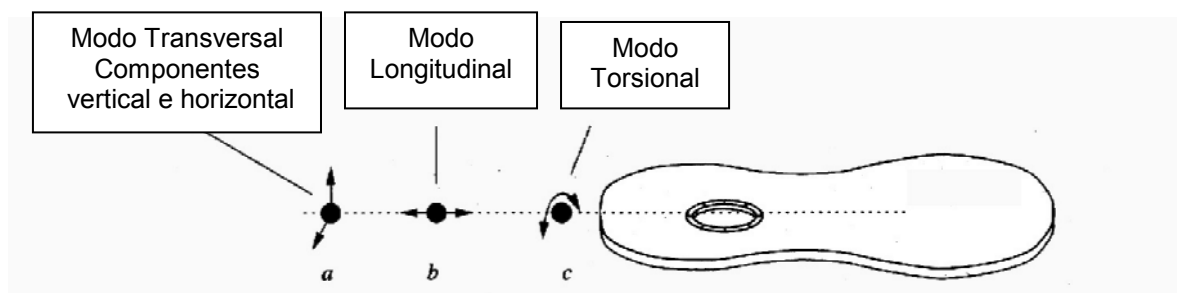


FIGURA 3.13: Tipos de vibração da corda do violão. As setas indicam as direções relacionadas com os modos de vibração da corda em um ponto imaginário da corda. FONTE: TOLONEN (1998, p. 12)

Normalmente as ondas longitudinais e torsionais não são relevantes para o mecanismo de produção de som do violão, ficando a quase totalidade da capacidade de excitação da corda em função das ondas transversais. Apesar das ondas transversais apresentarem componentes verticais e horizontais, a energia vibracional aplicada na ponte é um resultado das tensões da corda em uma direção longitudinal, uma vez que a corda fica presa a um só ponto da ponte. Em um experimento semelhante ao realizado na medição da resposta em frequência do tampo, RICHARDSON (1997) demonstra as diferenças de excitação do corpo do violão quando submetido a uma força de excitação dinâmica de amplitude constante e frequência variável aplicada sobre três direções sobre na ponte (figura 3.14).

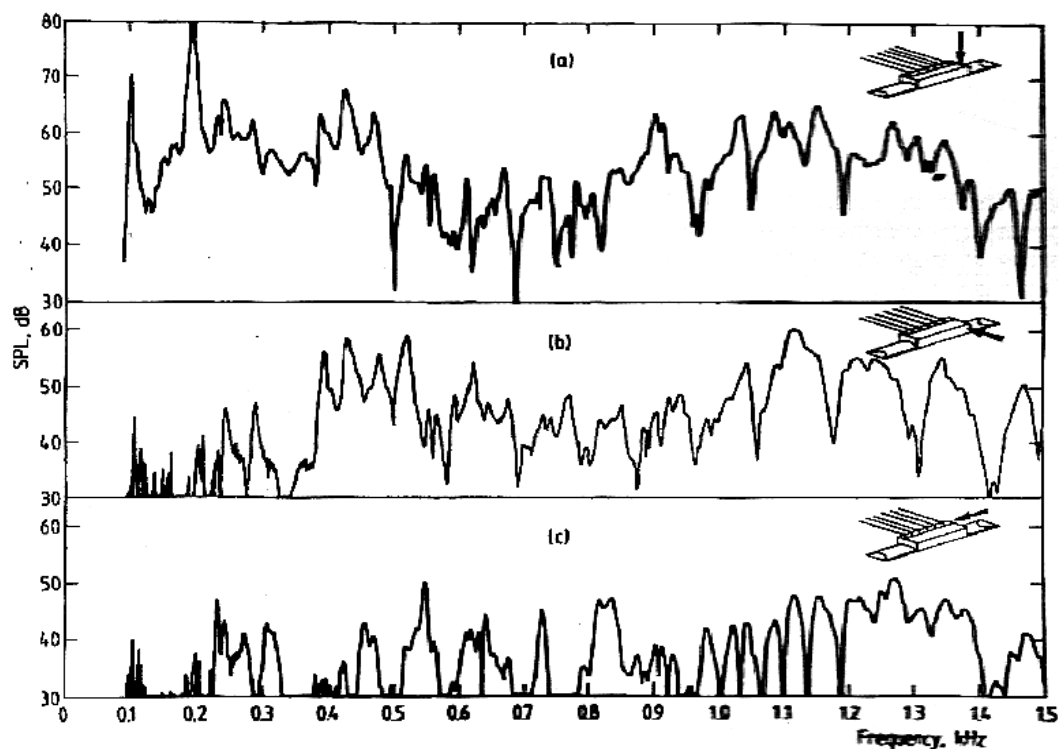


FIGURA 3.14: Potência sonora (eixo vertical) em função da frequência (eixo horizontal) para três vetores de força diferentes (setas à direita) aplicados na ponte. FONTE: RICHARDSON (1997, p. 1631)

Estes resultados indicam que o melhor aproveitamento da energia vibracional aplicada na ponte acontece em direções da força que imprimem um deslocamento vertical da ponte (movimentando o tampo como um alto-falante).

### 3.3. Interação dedo-corda

A interação dedo-corda inicia quando a ponta do dedo começa a tocar a corda e termina quando a corda é liberada. PAVLIDOU (1997), baseada em medidas experimentais, estima que a duração do período desta interação está entre 10 a 500 milissegundos. Mesmo que este período seja curto, é durante ele que o violonista atua na produção do som. Neste instante a técnica e a experiência de saber que tipo de som vai ser produzido são colocadas à prova, e no qual os violonistas dispensam o maior trabalho técnico.

Três mecanismos presentes no período de interação entre o dedo e a corda têm destacada relevância: a escolha da posição de ataque, o plectro, e o ângulo de liberação da corda (PAVLIDOU, 1997; TAYLOR 1990).

#### 3.3.1. Posição do ataque

A posição do ataque é um dos fatores mais importantes para a diferenciação de timbres em instrumentos de corda. No violão, a manipulação deste elemento é evidente em recursos de técnica de execução extensivamente utilizados na prática musical ocidental como o *Sul-ponticello*, que consiste em pulsar a corda perto da ponte, e *Sul-tasto*, que consiste em tocar perto dos trastes ou espelho (acrescidos da posição *normal* ou *ordinário* que consiste em uma posição mediana entre *Sul-tasto* e *Sul-ponticello*). Partindo do comportamento de uma corda ideal com extremidades fixas, análogas ao comportamento de uma corda real do violão, TAYLOR (1990) afirma que os pontos de ataque mais próximos à ponte concentram a energia em frequências mais altas, gerando uma sonoridade caracterizada por parciais agudas evidentes, e um timbre metálico e “duro” (qualidades subjetivas do recurso técnico *Sul-Ponticello*). A aproximação do ponto de ataque situado na metade do comprimento da corda caracteriza a posição *Sul-Tasto* e faz com que aproximadamente 80% da energia se concentre na frequência fundamental (o que não significa que o volume neste ponto seja maior). A região de

ataque considerada como “normal” por TAYLOR (1990) se situa a  $1/5$  do comprimento da corda, a apresentaria uma distribuição mais equilibrada da energia nas frequências dentro das duas primeiras oitavas a partir da frequência fundamental. Tais observações descrevem o comportamento da distribuição energia de vibração na corda (ideal) nos pontos de ataque utilizados pelos violonistas, entretanto transformações provocadas pelas propriedades do corpo do instrumento vão alterar o espectro final e caracterizar profundamente o timbre de cada instrumento.

Outra questão importante para o entendimento do ataque em diversos pontos da corda é a variação de rigidez ao longo da corda, que resulta em uma variação da força de ataque necessária em cada ponto, para a mesma energia transferida para corda. A variação desta força em função da distância à ponte<sup>22</sup> é mostrada no gráfico da figura 3.15, medido por TAYLOR (1990, p. 24).

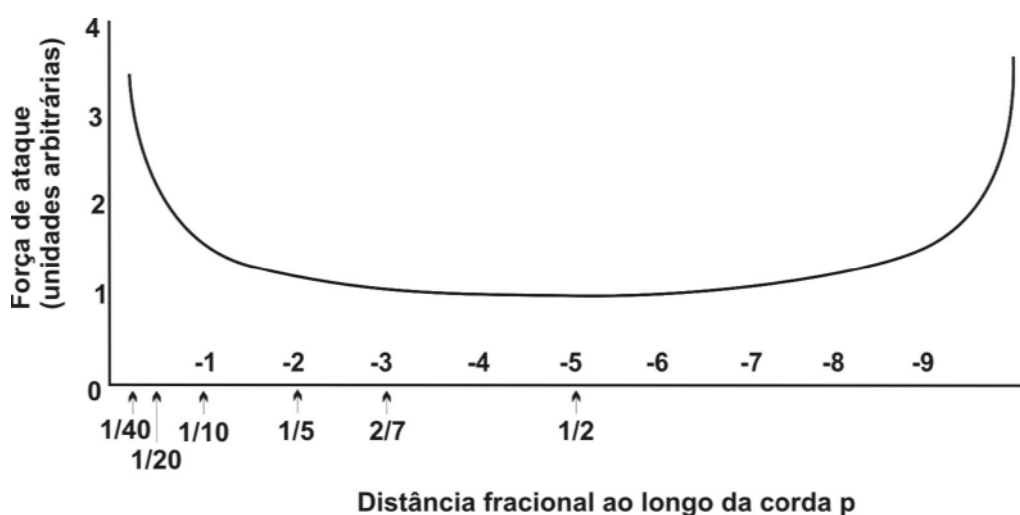


FIGURA 3.15: Força necessária (unidades arbitrárias no eixo vertical) para se manter a mesma potência em cada distância fracional (eixo horizontal) da corda. FONTE: TAYLOR (1990, p. 24)

TAYLOR (1990, p.25) afirma que os sons mais “*destacados e declamatórios*” do violão são produzidos pelos ataques nos pontos entre a ponte e a abertura (Sul-Ponticello). Apesar do aumento da força necessária para se deslocar a corda nesta região, as parciais agudas e inarmônicas geram um timbre evidentemente mais sonoro e perceptível. Entretanto, a amplitude e quantidade de energia dos sons realizadas nestas

<sup>22</sup> A razão entre a distância do ponto de ataque à ponte e o comprimento da corda será chamada de *distância fracional* ( $p$ ). (e.g.,  $p=1/5$  – a corda é atacada no ponto situado a um quinto do comprimento da corda a partir da ponte)

três regiões diferem drasticamente, impedindo que se conclua a princípio, que estes aspectos causem uma maior sensação de volume. O mesmo tipo de afirmação a respeito do ataque Sul-Ponticello é encontrada em GLISE (1997) e em uma antiga referência: *Method for Spanish Guitar*, publicado inicialmente em 1850 (SOR, 1980, p. 15), onde Ferdinando Sor descreve o ataque perto da ponte como mais “sonoro”. Há que se considerar a grande diferença quanto à utilização de cordas de tripa na época de Sor (que têm um comportamento timbrístico e mecânico completamente distinto das atuais cordas de nylon), além da não utilização de unhas.

Mesmo que as diferenças timbrísticas entre o toque com e sem unhas sejam motivadoras de discussões históricas entre Sor e Aguado, e de textos bem conhecidos como *El dilema del sonido en la guitarra* por PUJOL (1969), esta discussão parece não ter mais sentido uma vez que a maioria dos violonistas clássicos que utilizam cordas de nylon tem utilizado unha ou alguma espécie de plectro acoplado à ponta dos dedos (GLISE, 1997). Optaremos, portanto, em não destacar esta questão no presente trabalho.

Outro aspecto relevante sobre o ponto de ataque na corda é a necessidade de se manter pontos de ataque diferentes (em comprimentos de corda diferentes) para que a distribuição dos modos na corda permaneça igual. Desta forma, a mesma distribuição de energia entre os modos é uma proporção entre o comprimento da corda e o ponto de ataque (distância fracional) e, portanto, muda de posição assim que a distância entre ponte e traste mudar (que é o comprimento da corda para aquela nota). Mesmo sendo possível, não é desejável ficar alterando a posição da mão a cada nota, mas para a manutenção de uma qualidade timbrística mais constante e homogênea em determinada passagem é preciso observar a permanência de uma distância fracional nas notas ou pelo menos em saltos para regiões muito diferentes no espelho.

### **3.3.2. Dedilhado e liberação da corda**

Outros fatores como as distâncias entre cordas e o espelho e entre cordas adjacentes limitam o deslocamento da corda em determinadas direções. Os ruídos de colisões entre corpo e trastes (chamado *trastejamento*) e entre cordas são provocados por combinações das características de ataque e de tais limitações estruturais. Estas características estão freqüentemente relacionadas à qualidade do instrumento e aos limites de força aplicada pelo instrumentista nas cordas. Segundo TAYLOR (1990) um importante fator na

definição do timbre pelo violonista é a maneira como a corda é tocada, e se realiza basicamente em três tipos de liberação da corda: (a) utilizando a ponta dos dedos sem unha, (b) utilizando a unha como plectro em uma liberação *abrupta* (c) utilizando a unha como uma rampa em uma liberação *gradual*, demonstrados na figura 3.16.

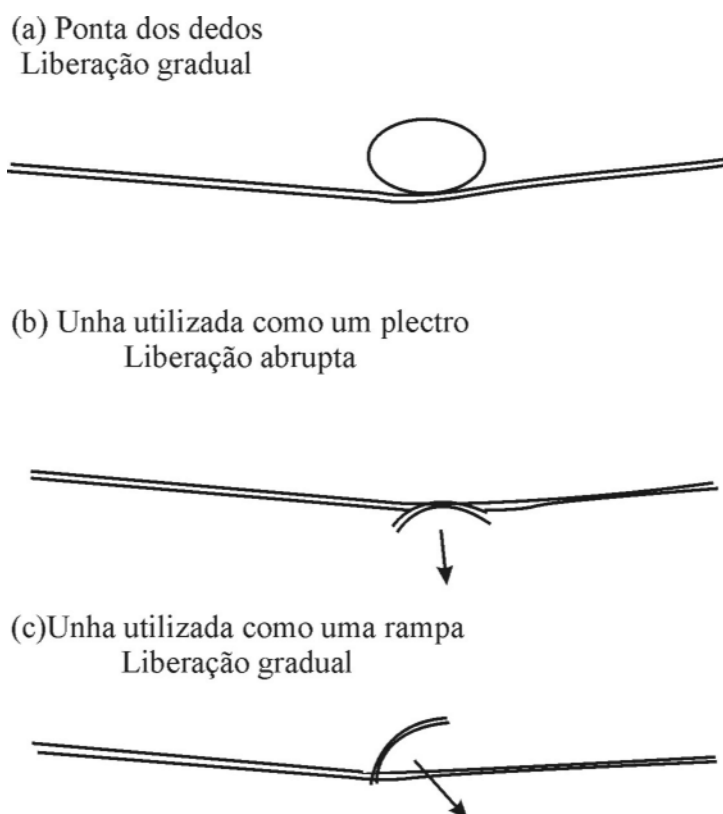


FIGURA 3.16: Maneiras de liberação da corda. FONTE: TAYLOR (1990, p. 26)

Como a maioria dos violonistas e estudantes utilizam unhas de maneira generalizada em todas as escolas de técnica violonística, não nos concentraremos nas formas de ataque sem unhas, bem menos utilizadas depois da aplicação do Nylon na construção de cordas para violão. Tal abordagem (histórica a princípio) teria de considerar um sistema vibrante bem diferente, composto inicialmente de cordas de tripa e instrumentos muito leves, estrutural e mecanicamente diferentes do violão utilizado atualmente.

TAYLOR (1990) afirma que qualquer movimento abrupto da corda tende a gerar um som áspero. Para a geração de um som “limpo”, a aceleração inicial da corda deve ser gradual o que praticamente significa que a unha deve liberar a corda como uma “rampa” (figura 3.17). Esta rampa, atuando em uma fração do deslocamento inicial da corda, funciona como um apoio físico de profundidade decrescente que faz a corda se

movimentar de maneira gradual, sem deslocamentos muito abruptos. Considerando que um corpo de certo comprimento, tende a abafar os modos da corda que apresentem comprimentos de onda menores ou iguais a ele, um deslocamento rápido e perpendicular à corda, com um plectro de dimensões mínimas, tende a abafar as vibrações dos modos com comprimentos de onda na corda, menores ou iguais o comprimento da interação deste plectro sobre a corda. Se tomarmos como exemplo a primeira corda Mi (330 Hz), um plectro de 1 centímetro teria o mesmo comprimento de onda de frequências de 21120 Hz<sup>23</sup>, suprimindo parciais acima do próprio limite de audibilidade. Tal situação deixa livre o surgimento de modos muito agudos e responsáveis pelo conteúdo “áspero” e “metálico” na corda do violão, entre os modos de uma vibração de 21120 Hz na mesma corda.

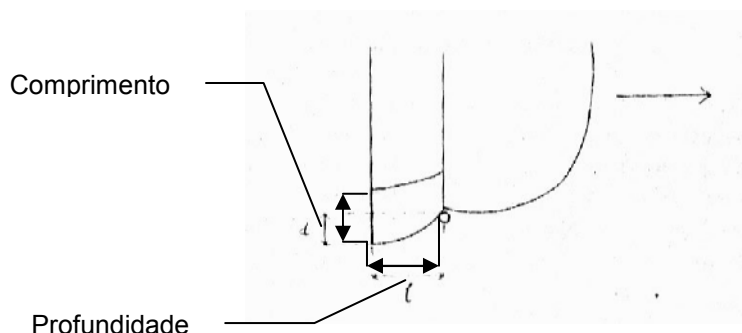


FIGURA 3.17: Dimensões da unha como rampa FONTE: TAYLOR (1990, p. 53)

O plectro que atua sobre a corda como rampa, que no caso do violão é uma interação entre contatos da pele da ponta do dedo e principalmente da unha, realiza basicamente duas funções: uma função de aproximação e contato com a corda, e outra de “rampa” para a liberação da corda (TAYLOR, 1990). A simplificação da rampa da unha proposta por TAYLOR (1990) na figura 3.17 mostra elementos que são influenciados pelos posicionamentos dos dedos e da mão alterando os períodos de interação da corda com a rampa e que têm influência sobre a amplitude do deslocamento inicial da corda. A figura 3.18 exemplifica duas maneiras de modificar a profundidade e o comprimento da unha, modificando o tipo de ataque com o dedo.

<sup>23</sup> Uma vez que o comprimento de onda é inversamente proporcional à frequência, a frequência de um determinado comprimento de onda na primeira corda do violão (mi 4 – 330hz) é obtida pela equação:

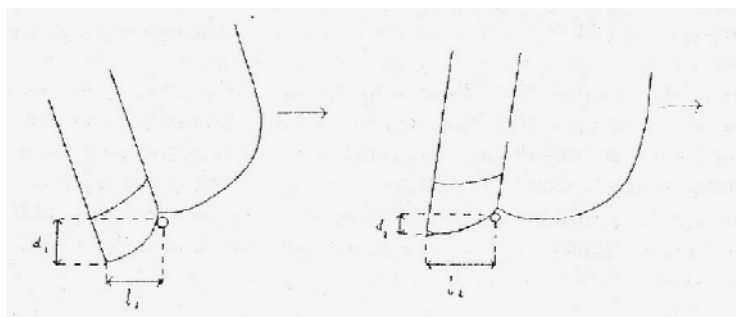


FIGURA 3.18: Dois exemplos de modificação das dimensões da rampa pelo tipo de ataque do dedo. Este tipo de posicionamento é normalmente realizado a partir da alteração do ângulo do pulso. FONTE: TAYLOR (1990).

Esta simplificação sofre grande influência de outros parâmetros da unha e do dedo como a forma, textura e, principalmente, a posição da mão e o tipo de ataque. TAYLOR (1990) apresenta uma descrição detalhada das possibilidades técnicas que podem influir sobre estes parâmetros. A principal delas está relacionada com o ângulo de liberação da corda, que é definido normalmente como o ângulo entre a linha das cabeças dos ossos metacarpianos e a linha da corda.

PAVLIDOU (1997) observou a dependência da trajetória da corda, sua amplitude e conseqüentemente, a variação de volume sonoro de três pontos de ataque na unha, que podem ser relacionados diretamente à profundidade do ataque. A montagem das medições realizadas utilizou sensores para a captação da movimentação da sombra da corda sobre dois planos perpendiculares x e y no violão, como ilustram as figuras 3.19 (a) e (b) e 3.20 (a) e (b).

$$f = \frac{c_s \times f_s}{c_p} = \frac{640mm \times 330Hz}{10mm} = 21120Hz$$

Onde  $c_s$  é o comprimento e  $f_s$  a frequência da corda solta,  $c_p$  é o comprimento da onda.

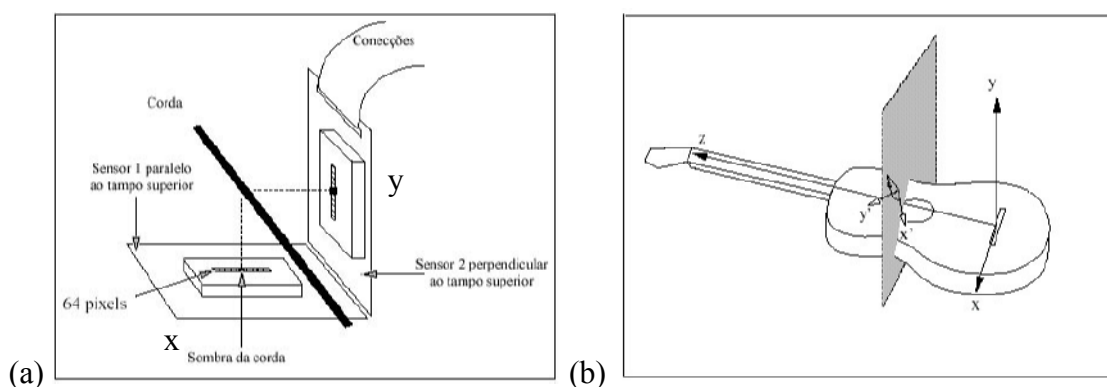


FIGURA 3.19: (a) Planos utilizados nas medições em relação ao corpo do violão e (b) disposição dos instrumentos de medição acoplados ao violão para a verificação do deslocamento da corda pelos planos  $y$  (sensor 1) e  $x$  (sensor 2). FONTE: PAVLIDOU (1997)

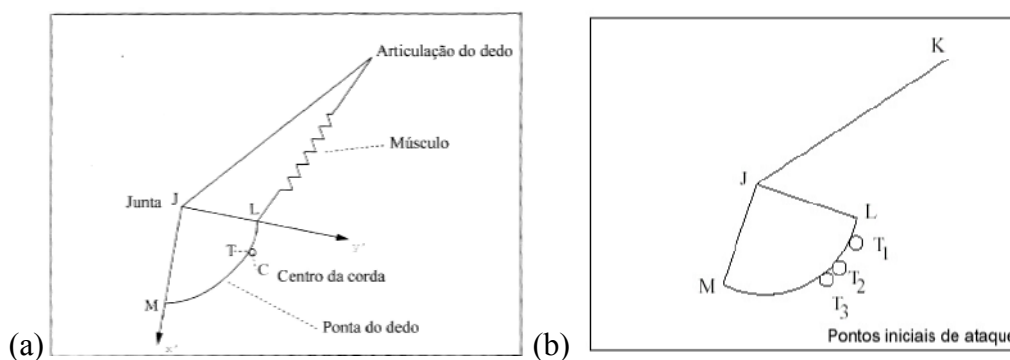


FIGURA 3.20: (a) Constituição das partes do modelo (bidimensional) de interação dedo-corda com apenas uma junta (J) e (b) modelo vetorial utilizado na simulação computacional por PAVLIDOU. KL representa a área entre a primeira e a última falange, ML a unha, JML a ponta do dedo e KL o músculo. T1, T2 e T3 são os pontos iniciais de ataque da unha. T1 é o ponto mais profundo e T3 o mais superficial (ponta da unha). FONTE: PAVLIDOU (1997)

Várias observações extraídas do trabalho de PAVLIDOU se baseiam nesta metodologia de representação do deslocamento da corda. A trajetória e amplitude do deslocamento nos dois planos  $xy$ , medidos pelos sensores para cada ponto inicial de ataque testado ( $T_1$ ,  $T_2$  e  $T_3$ ) está disposta na figura 3.21. O experimento confirma que a posição inicial de ataque da unha afeta fortemente o volume sonoro sem grandes influências sobre o timbre. Como pode ser visto na figura 3.21(a) relativo a  $T_1$  (posição da unha mais perpendicular), mostra que esta posição produz um deslocamento bem maior que a posição  $T_3$  (figura 3.21-c). Nestes gráficos a posição 0 indica a posição de repouso da corda, enquanto os eixos  $x$  e  $y$  estão relacionadas às leituras dos respectivos sensores da figura 3.19 (b).

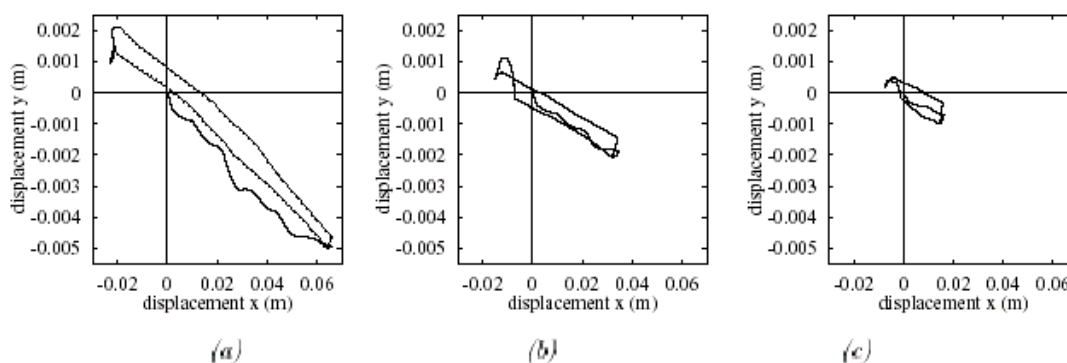


FIGURA 3.21: Trajetória da posição de ataque quando o ponto inicial foi (a) T1, (b) T2, e (c) T3, indicado na figura 3.20-b (unidades em metros). FONTE: PAVLIDOU (1997)

Estes experimentos indicam que a escolha do ponto inicial de contato entre corda e unha influencia principalmente a duração da interação e o volume do som. Quanto menor a rampa da unha menor o processo de interação e o volume do som (PAVLIDOU, 1997).

### 3.3.3. Ângulos de ataque da corda

A posição inicial do dedo em relação à corda é mesclada por PAVLIDOU (1997) com o ângulo de liberação da corda, que tem muita influência sobre a sua trajetória, a qualidade e o volume do som produzido. Este ângulo pode ser descrito como o ângulo entre a linha das cabeças dos ossos metacarpianos da mão, e a corda, e está relacionado ao que Carlevaro descreveu (tendenciosamente) como a *perpendicularidade da trajetória do dedo*.

A variação do ângulo de ataque na corda tem muitas gradações e caracteriza as escolas técnicas e as opções de cada violonista na definição de suas posturas técnicas. Entretanto podemos definir dois posicionamentos opostos normalmente utilizados e descritos como nas fotos da figura 3.22. O primeiro ataque (a) mais perpendicular em relação à linha da corda e o segundo (b) em diagonal. Os ângulos exatos destes posicionamentos podem variar muito, entretanto vamos nos referir como ataque *perpendicular* e ataque em *diagonal*.

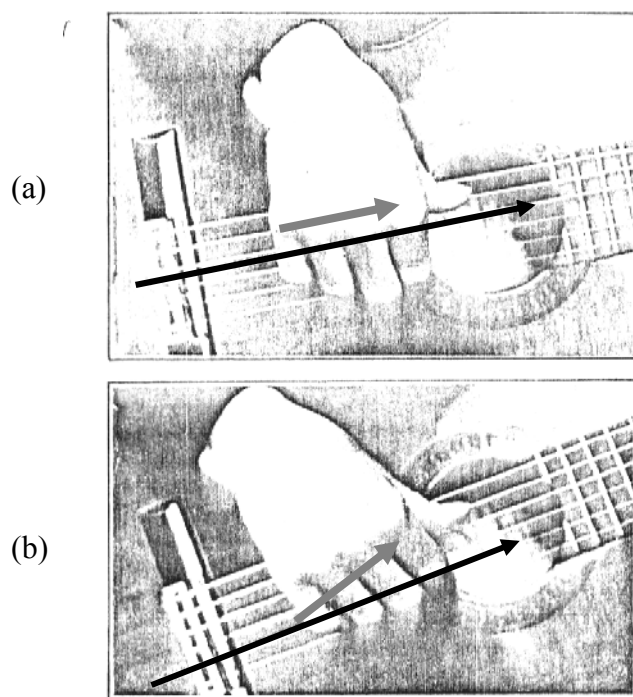


FIGURA 3.22: Duas posições da mão direita: linha das cabeças dos ossos metacarpianos (a) paralelas à corda (b) e em diagonal. FONTE: TAYLOR (1990, p. 54)

Em condições reais, quando ocorre uma mudança de ângulo de ataque (figura 3.22) o tamanho efetivo da unha é alterado, uma vez que a mudança de ângulo faz com que a interação entre corda e dedo seja maior ou menor<sup>24</sup>. Com o dedo percorrendo uma distância maior ocorre a inibição de modos superiores da corda priorizando parciais médias e baixas, como se a unha “varresse” as vibrações de comprimento de onda menores que a porção da corda com que manteve contato. PAVLIDOU (1997) também acrescenta que um ângulo mais perpendicular (como proposto por CARLEVARO, 1979) gera uma redução de 48 % na amplitude da vibração da corda como ilustrado pela área escurecida na figura 3.23, bem menor que a amplitude do ataque em diagonal descrito pela área clara delimitada pelas linhas na mesma figura.

<sup>24</sup> O aumento do tamanho efetivo da unha é considerado não só como o tamanho da unha, mas também como a área da corda em contato com a unha em determinado período de tempo. Um ataque em diagonal proporciona uma grande área de contato em curto espaço de tempo gerando um deslizamento suficientemente rápido ao longo da corda para suprimir modos de frequências audíveis.

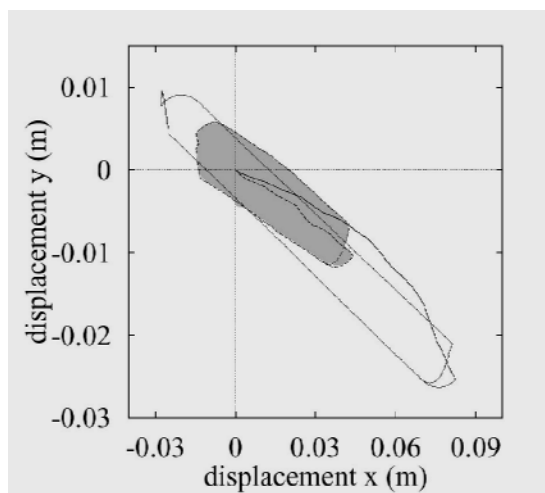


FIGURA 3.23: Simulação das trajetórias para um tipo de toque perpendicular (área escura) e outro em diagonal (área clara). Os dados foram colhidos com o a mesma montagem experimental da figura 3.19. A figura foi adaptada para melhor visualização. FONTE: PAVLIDOU (1997, p. 154)

### 3.3.4. Ataque “Apoiado” e “Tirando”

Os dois recursos técnicos, ou tipos de ataque mais utilizados e melhor descritos na literatura técnica violonística, envolvem exigências mecânicas e técnicas distintas e produzem resultados timbrísticos diferentes, mas são fundamentalmente gradações do *ângulo de liberação da corda*. No ataque Apoiado, a ponta do dedo ou as unhas empurram a corda em direção ao tampo e depois da liberação da corda descansam na próxima corda. No ataque Tirando, da mesma forma, o dedo empurra a corda, mas depois de liberá-la não descansa na próxima corda, permanecendo livre. Estes ataques estão divididos em 3 fases subseqüentes nas figuras 3.24 e 3.25

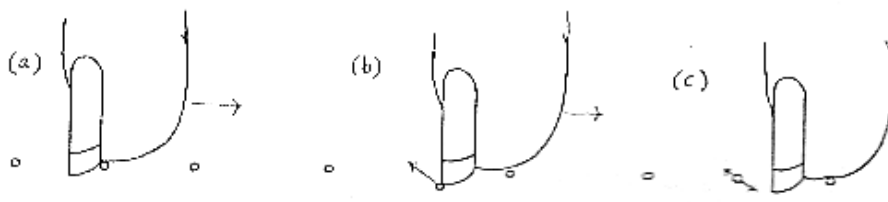


FIGURA 3.24: Três fases do ataque **Apoiado**. FONTE: TAYLOR (1990)

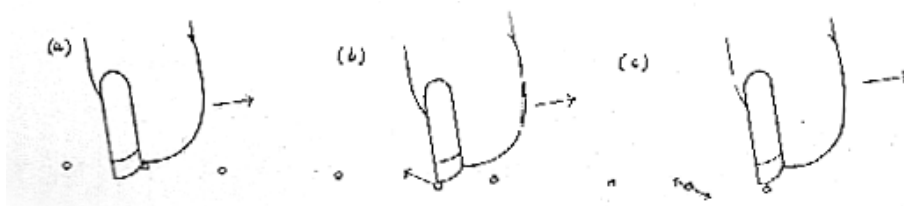
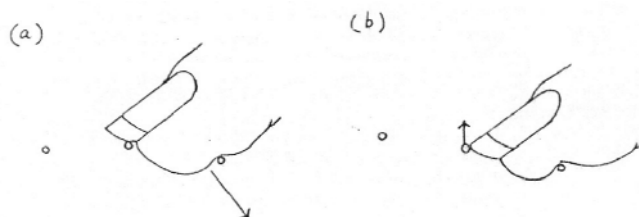


FIGURA 3.25: Três fases do ataque **Tirando**. FONTE: TAYLOR (1990)

É possível encontrar algumas variantes destes tipos de ataque, como o Apoiando “profundo” e o Tirando “excessivo” ilustrados na figura 3.26 (a) e (b), que se diferenciam principalmente pela direção do movimento do dedo e do posicionamento mecânico utilizado para realizá-lo. Há uma tendência de ampliação do volume sonoro obtido quando as variações destes ataques tendem a movimentar a corda em direção ao tampo (TAYLOR, 1990; PAVLIDOU, 1997; WRIGHT, 1996, entre outros), que é uma característica mais evidente nos ataques apoiados. De maneira geral a utilização do ataque Apoiado é direcionada para situações onde notas isoladas devem ser tocadas tão forte quanto possível. Entretanto existem questões musicais relacionadas com o estilo, fatores expressivos e adequação timbrística ao texto musical que devem se colocar à frente das exigências de volume, principalmente no repertório de música de câmara.

(a) Apoiado “profundo”<sup>25</sup>



(b) Tirando “inclinado”

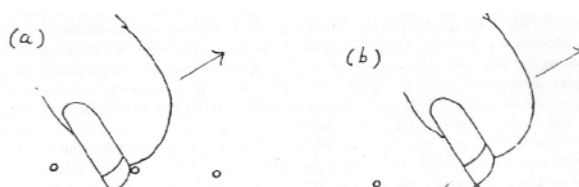


FIGURA 3.26: Variações dos ataques Tirando e Apoiado e respectivas direções da corda. FONTE: TAYLOR (1990, p. 48)

<sup>25</sup> Tradução do Autor. Texto original: “Deepest Apoyando” e “Steepest tirando”.

Os dois ataques efetuam a mesma tarefa de movimentar a corda. Entretanto a possibilidade de desenhar um ângulo de deslocamento da corda é mais ampla no ataque Apoiado o que resulta em um maior deslocamento e amplitude. PAVLIDOU (1997) também realizou experimentos que comparam as amplitudes das cordas nestes dois tipos de ataque cujos resultados são mostrados na figura 3.27, utilizando o mesmo modelo experimental ilustrado nas figuras 3.19 e 3.20.

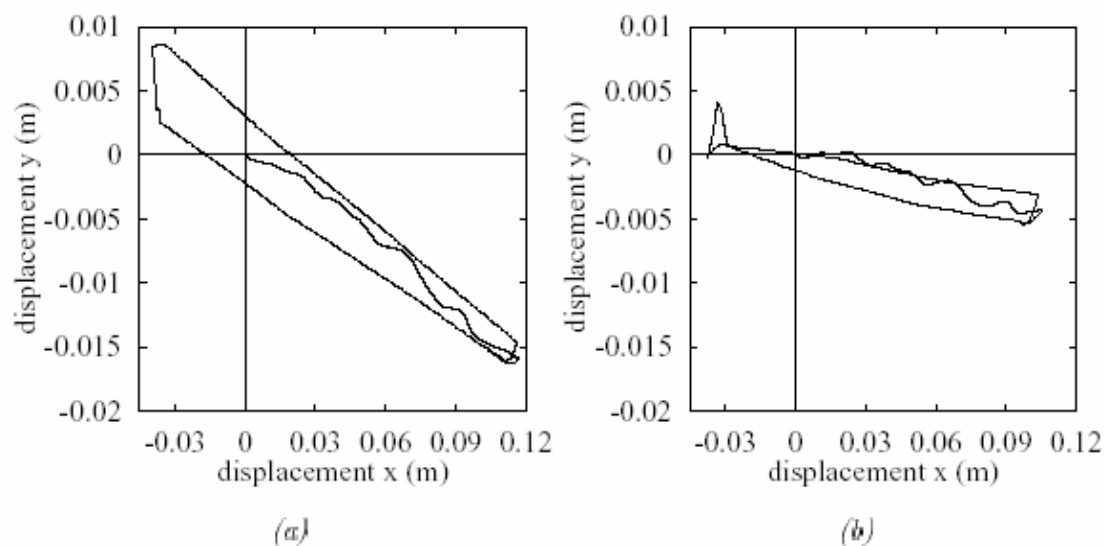


FIGURA 3.27: Trajetória simulada da corda para os ataques (a) Apoiando e (b) Tirando. FONTE: PAVLIDOU (1997)

## Capítulo 4 - O Problema do volume do violão

### 4.1. Introdução

#### Conceito de volume

Existem vários significados para o *volume* quando relacionada à percepção auditiva, principalmente na música. Neste estudo, a palavra “volume” está relacionada com a sensação psicofísica de intensidade do som, a qual envolve vários atributos do som além da intensidade da pressão sonora.

O volume, juntamente com a altura, o timbre e a duração, é um dos atributos utilizados para descrever o som subjetivamente. Cada um destes atributos depende de um ou mais parâmetros físicos mensuráveis. A tabela 4.1 mostra a dependência destes atributos em relação aos parâmetros: pressão sonora, frequência, espectro, duração e envoltória, e mostra que o volume percebido de sons complexos, como o som do violão, depende principalmente da pressão do som, mas também varia com a frequência, espectro, duração e capacidade do sistema auditivo de cada ouvinte (ROSSING, 1990).

Parâmetro físico	Qualidade subjetiva			
	Volume	Altura	Timbre	Duração
Pressão	+++	+	+	+
Frequência	+	+++	++	+
Espectro	+	+	+++	+
Duração	+	+	+	+++
Envoltória	+	+	++	+

TABELA 4.1: Dependência das qualidades subjetivas do som nos parâmetros físicos. FONTE: ROSSING (1980, p. 80)

### **Valor médio de energia (RMS)**

O valor RMS<sup>26</sup> de um sinal é a raiz quadrada de sua energia média durante um período de tempo T qualquer e tem a mesma unidade física do sinal. O valor RMS de um som pode estar relacionado ao volume percebido por um ouvinte quando medido em pequenos espaços de tempo, mas tem pouca relação com a percepção de volume para períodos de tempo maiores ou para sons com muita oscilação de potência.

$$x_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^T x_i^2}$$

### **Volume e altura**

Mesmo que dois sons tenham o mesmo nível de pressão sonora, eles podem ser percebidos com volumes diferentes pois a sensibilidade do ouvido varia também com a qualidade e frequência do som. Em 1933, Fletcher e Munson determinaram curvas de nível de volume igual (figura 4.1) para sons puros (sons senoidais), as quais mostraram uma clara visualização da sensibilidade do ouvido humano para a gama de frequências e níveis de volume audíveis.

<sup>26</sup> “Root mean square” ou raiz quadrática média.

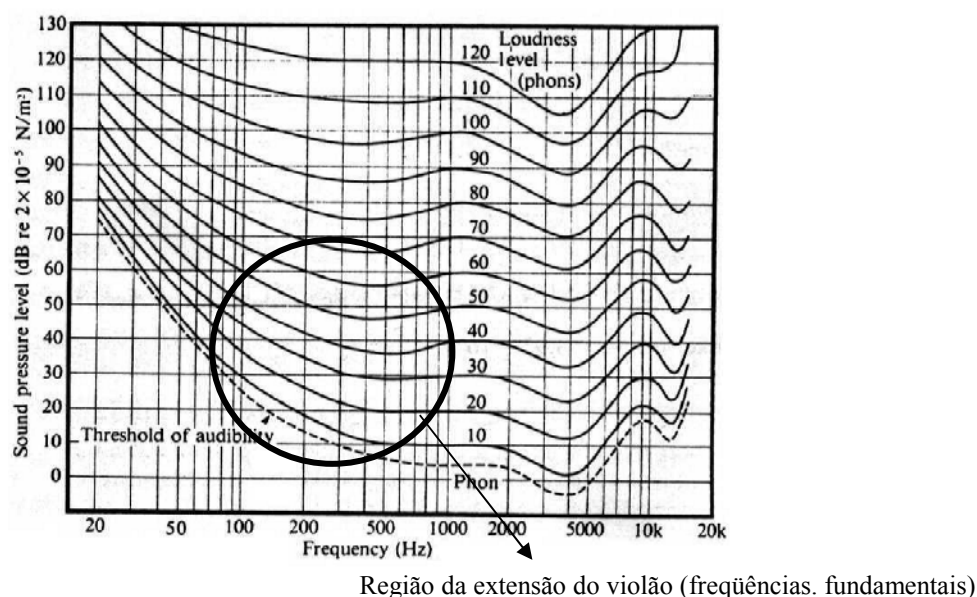


FIGURA 4.1: Gráfico de curvas de volume igual medidas por Fletcher e Munson com a região da extensão de alturas fundamentais e intensidades do violão realçada. FONTE: ROEDERER (1998, p. 134)

As curvas de Fletcher e Munson mostradas na figura 4.1 demonstram que a audição atinge um pico de sensibilidade entre 3500 e 4000 Hz com uma grande área de insensibilidade na região grave. O limite de insensibilidade que define esta área cresce a partir de 500 Hz, abrange três das quatro oitavas das frequências fundamentais das notas do violão e atinge o pico de insensibilidade no limite inferior de frequências audíveis (cerca de 20 Hz). As curvas de volume igual são numericamente iguais ao nível de pressão sonora, em dB, a 1000 Hz, e definem a unidade de volume percebido fone (*phon*). Na prática, estas curvas indicam a pressão sonora necessária para se obter um volume percebido igual, em diferentes frequências de sons puros. O círculo no gráfico da figura 4.1 mostra a gama de alturas e intensidades das frequências fundamentais do violão.

### **Volume e duração**

De maneira geral podemos considerar que a duração mínima para que um determinado som puro transmita uma sensação de som é de aproximadamente 10-15 milissegundos ou pelo menos 2-3 períodos de duração. Sons com durações menores são percebidos como “estalidos” e não como sons; sons com a duração maior que este limite podem ser percebidos com altura e volume definidos (ROEDERER, 1998, p. 141). ROEDERER

(1998) afirma que numerosos experimentos estabelecem que somente a partir de 200 milissegundos o ouvido começa a avaliar a energia do som para que, a partir deste limite, o volume comece a crescer com a duração. A figura 4.2 mostra um gráfico onde o volume real (volume percebido) cresce a partir do limiar próximo a 200 ms até um patamar estável em diversas frequências por volta de 1 segundo.

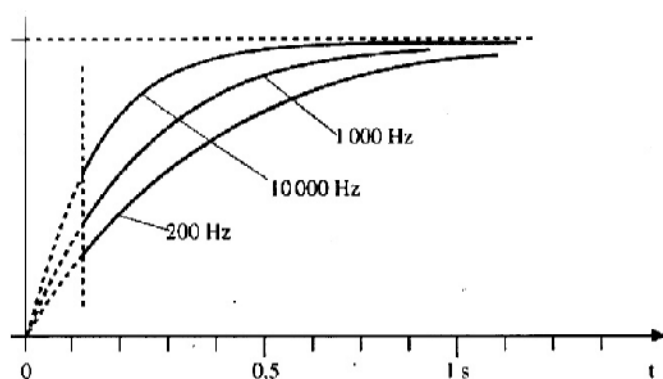


FIGURA 4.2: Volume relativo de sons puros de curta duração em três frequências diferentes. FONTE: ROEDERER (1998).

Não foram encontradas referências de estudos sobre influência da duração de sons de violão na percepção do timbre ou do volume. Desta forma utilizaremos experiências com sons puros na fundamentação de alguns dos relacionamentos do conteúdo espectral de sons impulsivos como o do violão, mesmo considerando as grandes diferenças perceptivas existentes entre sons puros e sons complexos.

### **Envoltória e duração**

A envoltória é tradicionalmente definida como o gráfico da amplitude RMS de um sinal pelo tempo (ilustrado na figura 4.3). No caso de um som continuante, não percussivo, pode ser dividido em três partes: *ataque*, *estado estacionário* e *decaimento*, ilustrados na figura 4.3. O *ataque* pode ser definido como o tempo desde o início até que o sistema vibrante atinja a estabilidade na forma de uma onda estacionária. O *estado estacionário* é a porção onde a onda estacionária é reforçada por um fluxo contínuo de energia do sistema vibrante e é geralmente, mas nem sempre, marcado pela periodicidade. O *decaimento* é a porção na qual a energia não é mais fornecida pelo sistema vibrante.

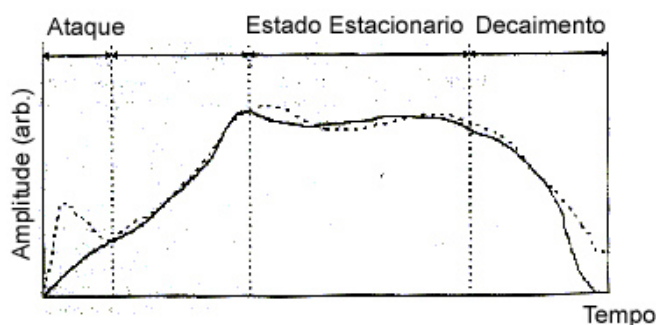


FIGURA 4.3: Divisões da envoltória de um som. FONTE: HADJA et al. (1997, p.275)

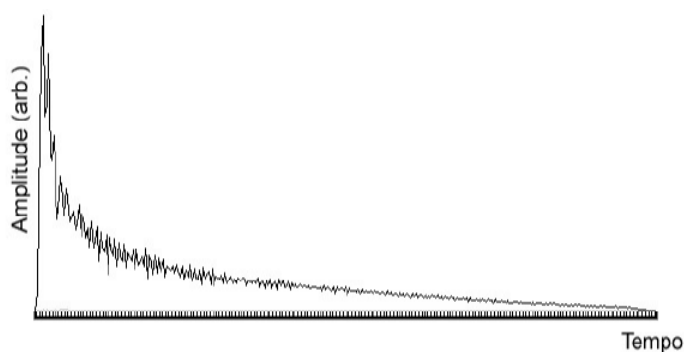


FIGURA 4.4: Envelope do decaimento de uma nota (si-3) do violão, com valores arbitrários de amplitude.

A figura 4.4 mostra uma das medições realizadas no grupo de notas selecionados no experimento. A necessidade de metodologias para uma abordagem destes elementos tem especial importância na pesquisa de timbres como o do violão, pois os tempos de decaimento das envoltórias analisadas se cruzam com as curvas de volume de curta duração (figura 4.2) ainda em seu estágio de ascensão, e isto pode indicar que diversas influências dos processos de decaimento possam estar atuando sobre volume percebido da base de sons desta pesquisa.

Para longos tempos de exposição ocorre o efeito de *adaptação*, que consiste na diminuição do volume percebido quando um som de intensidade constante for ouvido por diversos minutos. De modo geral, para sons musicais o período de tempo necessário para a estabilização do volume percebido é de cerca de 100 segundos.

## 4.2. O volume do violão

Os problemas que envolvem o volume de instrumentos essencialmente acústicos da família do violão têm sido um tema constante em diversos estudos. Neste trabalho foi apresentada no Capítulo 2, uma descrição destes problemas ao longo da história do violão no âmbito da tradição musical ocidental.

A busca por potência e volume no violão tem sido um dos objetivos perseguidos tanto por construtores quanto por instrumentistas (RICHARDSON, 1994, p.8). É uma questão primordial, que permeia a prática do construtor e do violonista, e não pode se colocar à frente das concepções musicais. Entendendo a técnica como o conjunto de capacidades, artifícios e soluções destinadas a realizar uma *concepção musical*<sup>27</sup> (que é o principal objetivo da técnica), é preciso tratar o volume como um elemento de potencialização das possibilidades musicais. Assim como outros componentes de uma estrutura de materiais técnicos (como capacidade de leitura de notas, mudanças de timbre e de andamento, etc.) que sustentam a realização musical, o domínio do volume sonoro transformado em fetiche, não pode designar os caminhos da estrutura que ele sustenta, como bem alerta CARLEVARO (1979):

*“La mayor o menor intensidad del sonido es un elemento cuantitativo importante en la expresión musical. De todos os modos, hay que observar el peligro que ofrece la utilización de la potencia sonora. El efecto sonoro exterior, el hechizo atrayente del crescendo e del diminuendo, pueden conducir al extremo de producir música no musical. La música considerada únicamente por esta forma, se hace así un simple ruido que obra físicamente.(...) Solo una verdadera sensibilidad artística es capaz de dirigir el empleo de los procedimientos dinámicos de tal manera que se confundan en el movimiento mismo de la obra, e impidan que la música caiga en el materialismo grosero del efecto puramente sonoro.”* CARLEVARO (1979, p. 60)

---

<sup>27</sup> FERNANDEZ (2000, p. 11) chama de Técnica “os procedimentos que se seguem ao efeito de dominar uma passagem ou dificuldade dados”, a qual ele condiciona à existência de uma concepção musical preexistente.

*“A maior ou menor intensidade de um som é um elemento quantitativo importante na expressão musical. De qualquer modo, há que se observar o perigo que oferece a utilização da potência sonora. O efeito sonoro exterior, o feitiço atraente do crescendo e diminuindo, podem conduzir ao extremo de produzir música não musical. A música considerada unicamente desta forma, se faz assim um simples ruído que age fisicamente. (...) Só uma verdadeira sensibilidade artística é capaz de dirigir o emprego dos procedimentos dinâmicos de tal maneira que se confundam no mesmo movimento da obra, e impeçam que a música caia no materialismo grosseiro do efeito puramente sonoro.”*

#### 4.2.1. Técnica violonística e volume

Dentro da literatura didática consultada e disponível, a abordagem mais direta do volume sonoro por textos de técnica violonística é realizada na obra de Abel Carlevaro (1918-2001). No livro “Escuela de la Guitarra” (CARLEVARO, 1979) complementado em sua literatura técnica por quatro volumes da “Série Didática para Guitarra”, ele aponta diretamente a dinâmica e os componentes técnicos, fisiológicos e mecânicos para um melhor aproveitamento<sup>28</sup> do leque dinâmico do volume. Na concepção de Carlevaro, as condições necessárias para se conseguir um “som puro”<sup>29</sup> no violão são: (1) a *perpendicularidade* da trajetória do dedo que é baseada na tentativa de se limitar o ataque a um só ponto da corda, e (2) a *velocidade de ataque na corda*, que se baseia na tentativa de manter a velocidade de ataque constante variando o peso liberado pelos dedos da mão na corda. Esta última concepção é colocada em prática na proposição de quatro tipos de toques dispostos em ordem de intensidade sonora na figura 4.5: **Toque 1** (ausente na figura 4.5) - o dedo atua livremente sem a imobilização de nenhuma falange como uma leve dobra sobre si mesmo. Carlevaro o relaciona timbristicamente com o timbre do piano. **Toque 2** - a última falange fica imobilizada deixando o eixo da articulação entre a primeira e segunda falange. **Toque 3** - A articulação do pulso fica imobilizada e o dedo atua desde sua base com o eixo de sua movimentação na

---

<sup>28</sup> Toda a obra de Carlevaro é circundada por uma intenção racionalista em essência de atingir “o maior resultado com o menor esforço”. Certas concepções em sua obra, baseadas em dados supostamente “racionais” dentro da mecânica dos dedos, da atuação das cordas e do instrumento, resultam em colocações dogmáticas que em última análise vão ser moldadas pela proposta estética ou estilística de cada instrumentista.

articulação entre dedo e mão. **Toque 4** - Neste tipo de toque a mão participa ativamente com as articulações dos dedos se imobilizando para que todo o peso movimentado pela mão atinja a corda sem qualquer amortecimento. O autor alerta que em casos extremos a articulação do punho pode ser imobilizada para atuação do braço, também imobilizando a articulação dos dedos. A figura 4.5 ilustra os toques 2, 3 e 4 onde há a necessidade de imobilização de alguma falange:

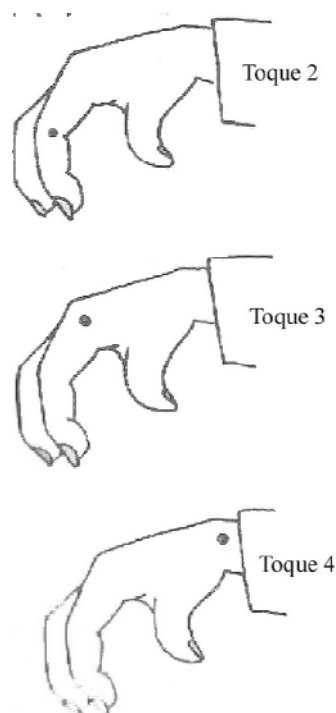


FIGURA 4.5: Centro do movimento (indicado pelos pontos) disposto na anatomia da mão direita, para os tipos de toques dispostos em ordem de intensidade sonora. FONTE: CARLEVARO (1979, p. 66)

Tais abordagens se referem essencialmente ao ataque *Tirando*, em que se baseia a proposta técnica do autor. Existe muito cuidado na obra de Carlevaro quanto ao uso do ataque Apoiado devido à suposta perda de controle ocasionada pelo posicionamento dos dedos para este tipo de ataque.

Apesar da importante relação criada por Carlevaro entre mecânica da mão e dinâmica no violão, é importante observar que mesmo se fosse possível o controle preciso da velocidade de ataque, do peso da estrutura e das articulações do braço e da mão, estes elementos se influenciariam uns aos outros. Como uma rede de processos interligados, o

---

<sup>29</sup> A definição do que seja som puro na técnica de Carlevaro, assim como toda concepção de “som ideal” de um instrumento, é uma definição estética delimitada muitas vezes por filiação estilística ou opção pessoal

aumento do peso sobre a corda implicaria, por exemplo, em uma resistência crescente da corda ao deslocamento, o que também afetaria a velocidade de ataque. Pesquisas realizadas por Maria PAVLIDOU (1997) demonstram que alterações na velocidade do dedo alteram os períodos de interação entre dedo e corda, mas não têm grandes influências no som do violão. Isto de certo modo suporta a proposta de Carlevaro, mas não invalida a utilização do controle de velocidade dos dedos como controle de volume. É curioso citar que nos testes onde PAVLIDOU pediu um aumento de volume aos violonistas no experimento, ela observou que estes tendem a aumentar o deslocamento da corda no período de interação dedo-corda e movem o dedo mais rapidamente ou com a ponta das unhas<sup>30</sup>. A questão da velocidade ainda carece de mais verificações, pois as interações entre peso e velocidade do dedo e a velocidade em direção à corda durante o período de contato com a corda parecem não estar devidamente descritas.

HII (1991) em um artigo sobre projeção (acústica) no violão reafirma as impressões apresentadas por Carlevaro e tenta desenhar explicações sobre a relação do violonista com o ruído:

*“To some guitarists the word "loud" has certain negative connotations. Loud playing is frequently associated with inexperience and lack of polish. These concerns are legitimate to a certain extent. To the performer, used to hearing the guitar from close range, extraneous noises that can result from loud playing such as string buzzings and rattles can be disturbing. Loud playing can also sound forced and unnatural and it tends to make the guitar too percussive.”* (HII, 1991, p.1)

*“Para alguns violonistas a palavra 'sonoro' tem certas conotações negativas. O toque sonoro é freqüentemente associado com inexperiência e falta de polidez. Estas afirmações são legítimas até um certo ponto. Para o violonista, acostumado a ouvir o violão de uma curta distância, sons indesejáveis como ruídos e batidas trastejamentos podem ser perturbadores. O toque sonoro pode também soar não natural e tende a fazer o violão demasiadamente percussivo.”*

---

<sup>30</sup> Nos resultados experimentais obtidos por PAVLIDOU (1997), só há medidas de posição em dois vetores (um vertical e outro horizontal). Uma vez que as informações obtidas se referem à quantidade de deslocamento por tempo, duas hipóteses foram levantadas para explicar o menor período de interação: um deslocamento mais rápido do dedo, ou uma área de interação menor (toque com a ponta da unha).

O autor menciona a necessidade de projeção sonora do violão em um ideal timbrístico que consistiria em um timbre “*sonoro, focalizado, bem controlado, potente e possuidor de uma qualidade de tensão.*” (HII, 1991, p.1). Para chegar a tal objetivo ele indica duas opções técnicas: desenvolver um potente ataque Tirando, e uma maior incorporação de ataques Apoiados. No desenvolvimento de um ataque tirando com potência ele apresenta uma técnica a qual designa ataque “empurrado” (Push-Stroke) que consiste na combinação de força do dedo e peso do pulso, e é dividida em quatro partes ilustradas na figura 4.6.

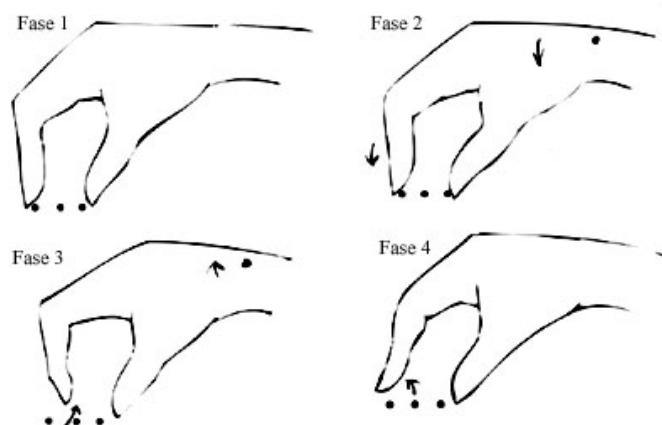


FIGURA 4.6: Sequência de movimentos para o tipo de ataque proposto por HII. FONTE: HII (1991, p.3)

A sequência das fases mostrada na figura é descrita como:

1. Posicionamento do dedo abaixando sutilmente a mão e utilizando o pulso como um ponto de apoio.
2. Com uma pequena pressão do pulso a ponta do dedo é empurrada contra a corda, mantendo a palma da mão firme sem, no entanto manter o pulso ou a palma rígidos ou resistentes ao movimento. A pressão é exercida principalmente pelo pulso e a flexibilidade do conjunto da mão determinará o volume.
3. Como um movimento pequeno e rápido, a corda é liberada pulsando-a em direção à palma.
4. Quase que simultaneamente, move-se o dedo circularmente, reposicionando-o sobre a corda.

Este tipo de abordagem tem muitas semelhanças como o Toque 4 (figura 4.7) da articulação da mão proposta por Carlevaro, mas com uma abordagem da liberação da corda ineficiente na fase 3, onde o dedo tende a impulsionar um movimento da corda em direção à palma. Esta atuação sobre a corda é limitada pelo espaço entre a corda e os trastes/espelho, pois a vibração na corda gera um deslocamento inverso no outro extremo da corda, causando batimento da corda contra o espelho e trastejamentos de modo semelhante ao que acontece no *Pizzicato Bartok* ou na técnica de *Slap* (muito comum na técnica de contrabaixo elétrico).

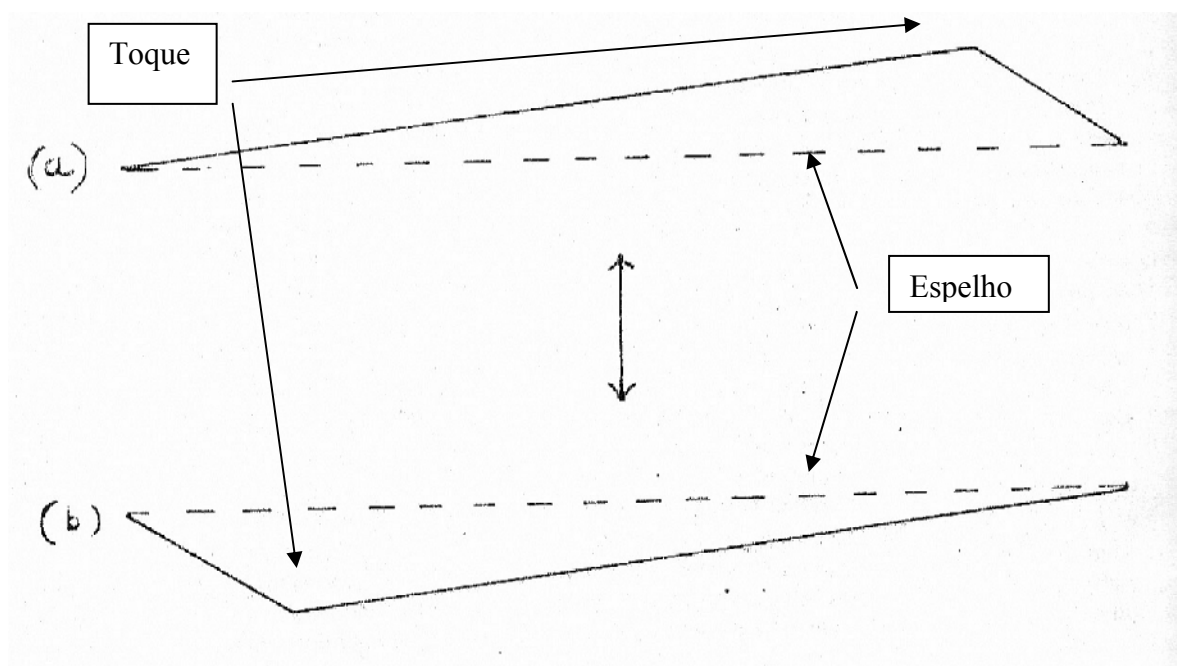


FIGURA 4.7: Os dois extremos da vibração da corda. (FONTE:TAYLOR, 1990, p. 44)

Na bibliografia revisada, a quase totalidade dos autores apresenta muito poucas orientações sobre as possibilidades técnicas em relação ao volume no violão em condições normais de performance. Apenas CARLEVARO (1979) e HII (1991) apresentam possibilidades práticas um pouco diferenciadas da tradicional dicotomia entre ataque Tirando (menos potente) e ataque Apoiado (mais potente).

### 4.2.2. Recursos técnicos e o timbre do violão

#### O timbre

Segundo LEVITIN (1999) um som musical pode conter seis atributos perceptivos: altura, ritmo, tempo, contorno, volume, localização espacial e timbre. Entretanto a maioria dos autores (HADJA et al., 1997; ROSSING, 1990) utilizam uma seleção de quatro atributos do som musical – altura, volume, duração e timbre. Seashore, há quarenta anos, já colocava que o timbre é *o aspecto mais importante do som e introduz o maior número de problemas e variáveis.*” (HADJA et al., 1997, p. 253). Mesmo depois de tantos anos, o timbre continua sendo o atributo menos compreendido da música. Os três principais motivos que ocasionam tal situação, são apontados por HADJA et al. (1997, p. 253):

*“(1) Em comparação com outros atributos perceptivos – especialmente altura e volume – o timbre tem recebido pouca atenção na literatura experimental; (2) por causa de sua natureza multidimensional, se torna de difícil manipulação dentro do modo de controle científico; e (3) não existe uma única definição operacional ou constitutiva largamente aceita pela qual pesquisadores possam construir métodos empíricos e modelos.” (HADJA et al., 1997)*

O timbre é definido pela ASA (American Standard Association) como “aquele atributo do sentido auditivo em termos do qual o ouvinte pode julgar que dois sons, similarmente apresentados e tendo a mesma intensidade e altura, são dissimilares”. Entretanto, esta definição não menciona relações do timbre com outros atributos (sequer menciona a duração), bem como não delineia uma proposta para mensuração do timbre. PRATT & DOAK (1976) citado por HADJA et al. (1997, p. 256) propuseram uma definição modificada, um pouco mais representativa na percepção musical: “Aquele atributo da sensação auditiva pelo qual o ouvinte pode julgar que dois sons são dissimilares utilizando outro critério exceto altura, volume ou duração”. Outras definições no campo da fenomenologia têm se mostrado didaticamente úteis, mas de difícil operacionalização na pesquisa em timbre: “A cor do som” ou “(...) as qualidades perceptivas de objetos e eventos; quer dizer, ‘como alguma coisa soa’”. Segundo

HADJA et al. (1997), nenhuma clara definição constitutiva do timbre foi proposta até o momento.

As primeiras tentativas e metodologias de medição do timbre se concentraram nas características uniformes de um som, baseadas claramente em um “retrato” da porção estacionária do som. Alguns exemplos ilustram estas concepções, como as definições de Helmholtz (1877-1954): “*as peculiaridades do som musical que continuam uniformemente*” e Seashore (1938-1967) “*as características de um som que dependem de sua estrutura harmônica mesmo que modificada pela altura absoluta e intensidade total*” (HADJA et al., 1997, p. 256). Tais definições tendem a ignorar processos não estacionários como os transientes e o decaimento, que são de grande relevância na percepção de timbres como os do violão, piano, harpa, percussão, e outros, nos quais os ataques são seguidos por decaimentos imediatos, não apresentando portanto estados estacionários claros, onde características timbrísticas poderiam se manter constantes por um período de tempo. HADJA et al. (1997) denominam tais sons com as características em questão de *sons impulsivos*.

Mais tarde, a partir dos anos 60, os transientes, especialmente do ataque, passaram a serem considerados em estudos sobre timbre, quando surgem controvérsias a respeito das relações entre parâmetros físicos tais como espectro, forma de onda, pressão sonora, frequência de localização do espectro e características temporais do espectro com a percepção de altura, volume e duração. Ao avançar as discussões sobre timbre, as definições operacionais do timbre se tornaram mais categóricas, com a rotulação de agrupamentos de sons (e. g. sons do violão, da flauta), e contínuas, como na verificação das características de um adjetivo verbal (e.g. brilhante-escuro, áspero) ou mesmo híbridas. Dentre os métodos mais comuns utilizados na medição do timbre podemos enumerar os seguintes:

- Identificação – rotulação verbal de um estímulo por classe ou categoria.
- Categorização – consiste no agrupamento de estímulos comparados com os membros de uma série de estímulos “modelos”.
- Comparação – neste método há um emparelhamento de comparações únicas ao um único modelo.

- Atributos verbais – esta avaliação força a projeção de um esquema de adjetivos impressionísticos (como “mais brilhante” ou “mais sombrio”) dentro de uma série de sons.
- Avaliação de proximidade – é a medição da similaridade ou dissimilaridade entre todos os pares de uma série de objetos.
- Discriminação – consiste na diferenciação subjetiva entre estímulos de uma série.

Obviamente cada um destes métodos apresenta uma complexidade, de técnicas e abordagens que não serão descritas neste trabalho. Informações mais precisas podem ser encontradas em HAJDA et al.(1997) e GREY (1975).

### **Sons impulsivos**

Grande parte das discussões sobre timbre se baseia em sons “continuanes”, ou sons que mantêm um período de estabilidade nos atributos sonoros, o que não ocorre no caso dos sons do violão que apresentam um decaimento rápido logo após o ataque, e portanto exigem uma abordagem diferenciada de estudo.

Segundo FIRTH (1982), quando uma corda é tocada no violão existem duas ocorrências principais:

- Na primeira porção do som as ressonâncias de todo o corpo do violão são excitadas, vibram, emitem som, e decrescem com um tempo de decaimento constante em cada ressonância, muito próximo à resposta do instrumento aos “tap tones”. De acordo com FIRTH (1982), este processo dura cerca de 100 milissegundos é caracterizado pela presença de transientes.
- Na segunda porção do ataque o som sustentado pela energia das cordas já decaiu em certa quantidade, mas continua recebendo energia dispensada pelas cordas vibrantes com um decaimento menos abrupto que a ocorrência anterior. É caracterizado por um espectro mais “harmônico” relacionado com os modos de vibração das cordas.

FIRTH (1982) demonstra através de uma modelagem por circuito elétrico, que o início do som de uma nota tocada no violão contém considerável informação sobre a resposta

do corpo do instrumento, enquanto o decaimento da nota mostra uma menor modificação do conteúdo espectral, como podemos observar na figura 4.8 extraída de análises realizadas durante a pesquisa.

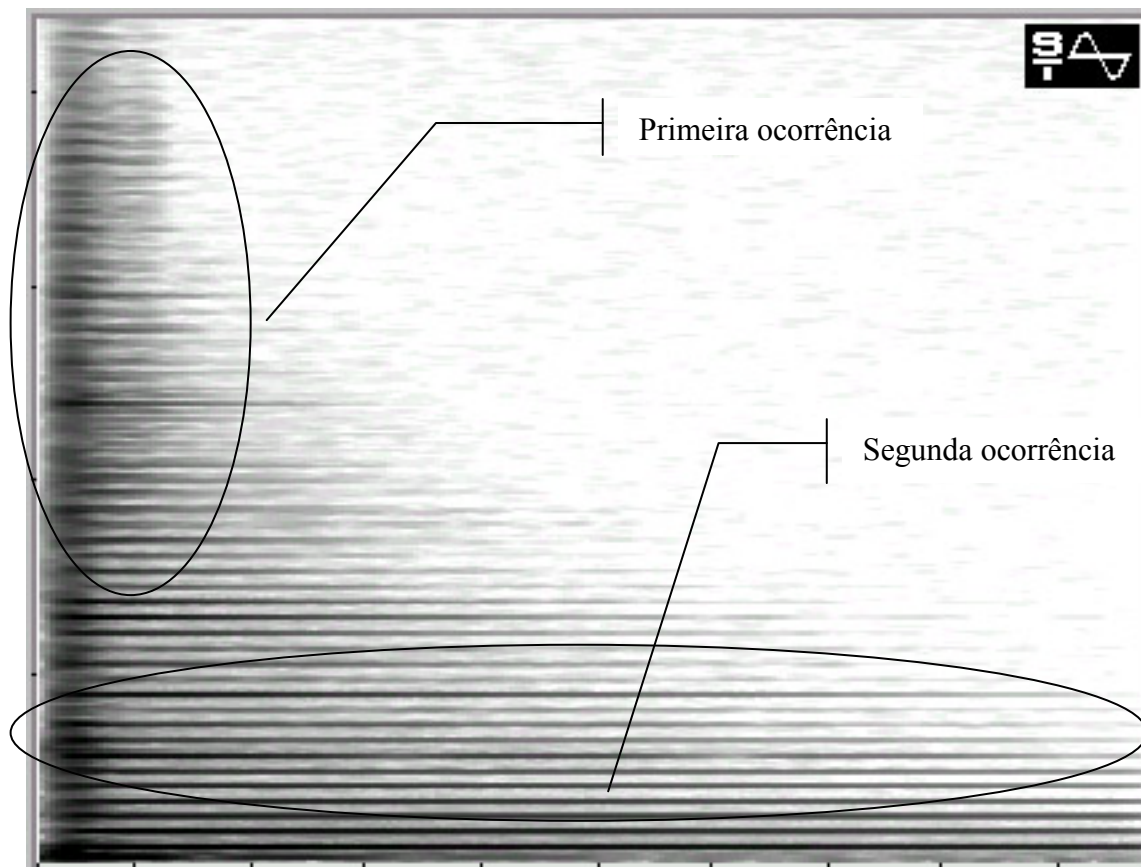


FIGURA 4.8: Espectrograma de uma nota do violão indicando as ocorrências apresentadas por FIRTH (1982). O eixo vertical apresenta uma escala linear de 20 a 20000 Hz e o eixo horizontal uma escala de tempo de 1 segundo

A primeira porção do som do violão apresenta a ocorrência de *transientes*, que são comportamentos irregulares, não recorrentes, que têm um decaimento muito rápido no início das notas do violão. Eles contêm, além de informações mais significativas causadas pela excitação pelo corpo do violão (FIRTH, 1982), propriedades psicofísicas muito diversas e significativas para a percepção do volume, de grande relevância tanto para o ouvinte quanto para o violonista (que mantêm contato com a corda em poucos instantes contidos dentro deste período). Vários estudos nas décadas de 60 e 70 se dedicaram a explicar influências dos transientes dos instrumentos musicais na identificação de timbres. Nestes estudos os ataques foram removidos demonstrando uma importância na identificação dos timbres.

Na segunda ocorrência, uma faixa mais constante e menos inarmônica permanece com um tempo de decaimento menor que dos transientes e estão mais relacionadas com a energia das cordas vibrantes que com as informações dos modos de vibração do tampo (FIRTH, 1982).

A remoção do decaimento dos transientes não afeta substancialmente as identificações (HADJA et al., 1997). Estudos recentes têm retornado com a discussão das metodologias que utilizam o corte dos ataques rerepresentado-os em gráficos de escalas multidimensionais. Este tipo de tratamento de dados permite a visualização de processos subjetivos de similaridade/dissimilaridade entre timbres, pela aproximação gráfica dos rótulos de timbre. As definições dos períodos de transientes utilizadas nestes experimentos variam de 20 a 150 ms, com uma certa recorrência nas durações entre 80 e 100 ms e tendência à redução para timbres mais percussivos.

FIRTH (1982) afirma que o período de transientes de ataque dura cerca de 100 ms no violão. No entanto, períodos muito diferentes e a presença de processos prolongados de interação entre dedo e corda podem por em dúvida o próprio ponto de início do ataque no violão. Tais problemas foram verificados na preparação das amostras utilizadas nos testes psicoacústicos desta pesquisa e nortearam a metodologia de equalização de potência.

De fato, a pesquisa sobre timbre de sons impulsivos, e mais especificamente sobre o comportamento do volume percebido, decaimentos, tempos de ataque e outros fatores com muita variação temporal ainda necessitam de discussões. HADJA et al. (1997) afirma que este campo de estudo é uma *avenida para futuras explorações*, e apresenta problemas metodológicos ainda não abordados.

### **Recursos técnicos**

PAVLIDOU (1997) e TAYLOR (1990) apresentam uma espécie de hierarquia de influência entre os parâmetros técnicos de maior influência no som do violão que estão sobre o imediato controle do violonista. TAYLOR (1990), em um texto mais próximo da técnica violonística, dispõe a seguinte hierarquia de influências (Tabela 4.2):

1. A distância fracional ao longo da corda até o ponto de ataque
2. A magnitude e direção do deslocamento da corda no ataque.
3. A maneira como a corda é tocada.
4. O Vibrato aplicado, se houver.

TABELA 4.2: Hierarquia de influência no som do violão segundo TAYLOR (1990)

PAVLIDOU (1997) elaborou uma hierarquia de parâmetros de maior influência no som do violão disposta na tabela 4.3:

1. A força friccional entre corda e ponta dos dedos
2. A resposta da massa dos músculos e da ponta do dedo
3. A direção do movimento do dedo ou a posição inicial do dedo.
4. O ponto inicial entre a corda e a ponta do dedo.
5. A velocidade do dedo.

TABELA 4.3: Hierarquia de influência no som do violão segundo PAVLIDOU (1997, p. 177)

Concatenando as duas propostas acima e acrescentando as divisões de funções mecânicas apresentadas por CARLEVARO (1979), obtemos um resumo de três grupos aproximados com predominância de operadores anatômicos distintos onde volume e timbre sofrem drásticas modificações (figura 4.4).

O vibrato (a quarta influência apresentada por TAYLOR, 1990), não foi considerado, pois apesar de sua influência na sustentação e timbre, se afasta da discussão aqui apresentada.

GRUPOS		DESLOCAMENTO DO PONTO DE ATAQUE NA CORDA	FORÇA E DIREÇÃO DO ATAQUE	PROFUNDIDADE E FORMA DO ATAQUE
Operadores mecânicos mais utilizados	Braço	X	-	-
	Dedos	X	X	-
	Ponta dos dedos e unhas	X	X	X
TAYLOR		<ul style="list-style-type: none"> <li>A distância fracional ao longo da corda até o ponto de ataque</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>A magnitude e direção do deslocamento da corda no ataque.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>A maneira como a corda é tocada.</li> </ul>
PAVLIDOU		_____	<ul style="list-style-type: none"> <li>A resposta da massa dos músculos e da ponta do dedo</li> <li>A direção do movimento do dedo ou a posição inicial do dedo.</li> <li>A velocidade do dedo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>A força friccional entre corda e ponta dos dedos</li> <li>O ponto inicial entre a corda e a ponta do dedo.</li> </ul>

TABELA 4.4: Influências dos parâmetros técnicos e respectivos operadores mecânicos no som do violão segundo TAYLOR (1990) e PAVLIDOU (1997).

Na bibliografia consultada as fontes que descrevem o tipo de ataque em “diagonal” mais diretamente o relacionam com um tipo de sonoridade mais volumosa, potente e forte (TAYLOR, 1990; PAVLIDOU, 1997; WRIGHT, 1996). TAYLOR (1990) relaciona tais características com a facilidade de projeção da corda para baixo, não oferecendo obstáculos para a completa realização do movimento da corda e apresenta-o em uma dicotomia de ângulos de ataque, oposto ao toque perpendicular. Como já mencionado, a movimentação da corda para baixo ocasionaria batimentos e trastejamentos que limitariam a vibração da corda. Entretanto nenhum autor menciona duas hipóteses levantadas durante a pesquisa, que podem ser relevantes na explicação das características deste tipo de ângulo de ataque:

- Primeiramente, o ataque em diagonal oferece um espaço maior de ataque e saída de ataque em comparação com o toque perpendicular. Esta característica é um limitador na tomada de velocidade e impacto na corda e conseqüente recolhimento e retomada da posição normal do dedo.
- O timbre que caracteriza normalmente este tipo de ataque é denominado como “cheio”, que fisicamente é caracterizado pela presença de parciais médias e graves, e está relacionado com a sensação psicoacústica de “peso”. Aliado ao

incremento da amplitude pode significar não só a sensação de um volume maior, mas uma característica percebida como mais “forte”, em contraposição à característica de “destaque” sonoro, relacionada a parciais mais agudas.<sup>31</sup>

A escassa literatura sobre técnica violonística disponível não permite traçar comentários generalizados sobre a influência do problema “volume” nas estratégias técnicas dos violonistas, muito menos apontar para lacunas dentro da prática musical do violão erudito. Entretanto, assim como os construtores buscaram subsídios na física e psicofísica que norteassem as estratégias de construção do instrumento, a técnica violonística parece carecer de fundamentos claros (não necessariamente originados da física e psicofísica) para subsidiar opções mais concretas na abordagem técnica.

### 4.3. Melhoria do projeto de construção

Instrumentos como o alaúde e a vihuela têm normalmente corpos mais leves, o que faz com que a estrutura destes instrumentos seja mais “fácil” de se colocar em vibração, mesmo utilizando cordas menores e com tensões bem mais baixas que as do violão moderno. RICHARDSON (1994) afirma que as mudanças mais óbvias no violão moderno quando comparado a instrumentos antigos, são verificadas no tipo de encordoamento e as dimensões do instrumento. Em uma série de análises de uma vihuela construída por Martin Flessen em 1978<sup>32</sup>, RICHARDSON (1994) descreve um instrumento com o comprimento de corda de 600 mm, comprimento de corpo de 440 mm e uma profundidade de corpo de 70 mm. A curvatura superior, cintura e curva inferior têm respectivamente 235 mm, 215 mm e 275 mm e, portanto, a área dos tampos é consideravelmente menor que no violão moderno. As tensões da corda são aproximadamente um terço daquelas encontradas em um instrumento moderno. Utilizando a técnica de Interferometria Holográfica e medições de admitância (medida da facilidade na a qual o instrumento é colocado em vibração em diferentes frequências)

---

<sup>31</sup> Nos testes psicoacústicos realizados na pesquisa, vários sujeitos se manifestaram quanto à dificuldade de comparar o volume de notas com características opostas como as mencionadas.

<sup>32</sup> Apesar deste instrumento não ser uma réplica de outro instrumento de época em particular, segundo RICHARDSON (1994) ele encorpa as características típicas de um instrumento antigo.

observou-se que os resultados não indicam diferenças tão marcantes entre os dois instrumentos, como mostrado na figura 4.9:

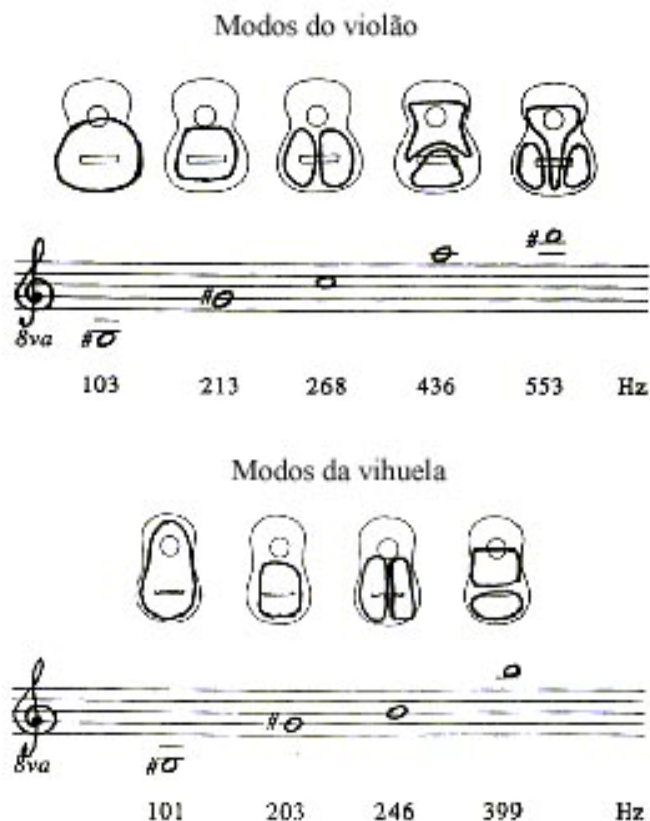


FIGURA 4.9: Comparação entre as frequências dos modos de um violão moderno e de uma vihuela.  
FONTE: RICHARDSON (1994).

RICHARDSON (1994) coloca que os fundamentos da acústica do violão moderno são muito similares aos dos seus antepassados e afirma que não haveriam motivos para se afirmar que o equilíbrio entre os principais componentes da estrutura vibrante do violão tenha sido otimizado (área, rigidez e massa dos tampos, materiais, técnicas de construção). De fato, poucas transformações ou tentativas de modificação do violão foram amplamente aplicadas ou provocaram alguma mudança significativa. Entretanto, as mudanças tecnológicas das últimas décadas apresentaram novas possibilidades, materiais, soluções, demandas e transformações que fazem surgir um grande leque de estratégias de incremento da potência do instrumento.

Provavelmente a mudança mais relevante e abrangente no violão aconteceu com a substituição das cordas de tripa por cordas de Nylon em meados da Segunda Guerra Mundial. Albert Augustine, um dos construtores de violão de Andrés Segóvia, teve a

idéia de utilizar o material recém inventado Nylon para a substituição das tripas, matéria prima em falta devido à sua utilização para fabricação de fios cirúrgicos na Primeira guerra mundial. A aplicação do nylon gerou mudanças timbrísticas relevantes no violão e um aumento dos níveis de tensão da corda (RICHARDSOM, 1994), além de vantagens não diretamente musicais: baixa absorção de umidade atmosférica, baixo custo, superfície perfeitamente lisa e resistência à abrasão. Entretanto, as maiores transformações aconteceram nas cordas graves onde o nylon utilizado em multifilamentos apresentou uma grande resistência à tração, ocorrendo uma diminuição da espessura das cordas em favor de um aumento da espessura do fio de metal, e um aumento da massa específica da corda. As cordas graves precisam ter maiores massas para que a tensão da corda possa ser mantida a níveis suficientemente altos para produzir mais volume no violão. A equação abaixo mostra como frequência varia em função da tensão  $T$ , comprimento da corda  $L$  e massa específica  $M$  (massa por unidade de comprimento). Pela equação observamos que para o mesmo comprimento de corda, valores baixos de frequência só são obtidos com a diminuição da tensão ou aumento da massa específica. O resultado final desta abrangente substituição do material das cordas foi uma considerável melhoria das características acústicas das cordas graves relacionadas ao volume, riqueza de parciais altas e inarmônicas (que aumentam a percepção de volume) e duração do som (GRONDONA & WALDNER, 2001).

$$f = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

CARRUTH (2002) e RICHARDSOM (1994) apresentam basicamente três tipos de possibilidades de construir violões mais eficientes em relação à potência sonora dispensada: o aumento das dimensões do tampo superior, a redução do peso do tampo superior ou a redução das perdas internas do instrumento.

#### **Aumento das dimensões do tampo superior**

Esta linha de construção tem sido aplicada desde os antepassados do violão em relação a suas dimensões (Capítulo 2). O aumento do tampo teve uma clara influência tanto no aumento da potência sonora quanto nas características do timbre. No entanto, a construção de tampos com áreas vibrantes maiores exigiu que fosse aumentada sua

espessura o que acaba mantendo a relação área/massa efetiva constante, a qual, de acordo com WRIGHT (1994) e RICHARDSOM (1994), precisa ser aumentada para se obter um incremento da potência sonora do violão. O advento dos leques estruturados abaixo do tampo (introduzido por Torres) foi um grande passo para a manutenção de áreas vibrantes maiores sem o aumento da massa e da rigidez do tampo e ainda mantendo a resistência suficiente para suportar a tensão das cordas.

Algumas experiências, como instrumentos de tampos estendidos ou modificados em forma convexa (da mesma forma que os tampos do violino), têm obtido resultados no incremento da potência sonora, mas produzem timbres bem diferentes do que consideramos como “normal” para um violão (CARRUTH, 2002).

### **Redução do peso do tampo superior**

A redução da massa do tampo superior (normalmente realizada pela diminuição da espessura do tampo ou de áreas do tampo) favorece a redução da massa efetiva para os principais modos de vibração, mas inviabiliza o suporte da tensão das cordas. Este procedimento também abaixa as frequências dos modos a valores que impossibilitam a construção de um violão com a extensão padrão de alturas do violão (RICHARDSOM, 1994). A rigidez do tampo, fator dependente da massa do tampo, está relacionado com a qualidade da madeira utilizada no tampo, que é governada não só pela forma de crescimento da árvore, mas também pelo modo como as placas de madeira são cortadas. Madeiras colhidas de árvores envolvidas em “espirais” de crescimento nas quais as fibras não permanecem paralelas à superfície da placa apresentam uma redução considerável na rigidez ao longo da grã da madeira. O tipo de madeira também influencia a massa do tampo: cedro, por exemplo, têm uma relação rigidez-massa melhor que o abeto (pinho), e é comumente utilizado em violões premiados. O tipo de madeira também tem grande influência sobre o timbre.

### **Redução das perdas internas do instrumento.**

O aumento da eficiência de radiação da energia de vibração está diretamente relacionado com os materiais envolvidos na construção. Instrumentos musicais são geralmente ineficientes no aproveitamento da energia de excitação em energia sonora, e no caso do

violão apenas 5% da energia das cordas é aproveitada (CARRUTH, 2002; SOMOGYI, 1999). Uma redução de 1% desta perda, por exemplo, representa um aumento 20% de energia aproveitada.

As vibrações dos tampos do fundo são em muitos aspectos similares ao tampo superior, mesmo sendo postas em vibração pela transferência de energia da estrutura do violão. Estas vibrações são abafadas pelo contato destas partes com o corpo do instrumentista e na tentativa de se evitar esta dissipação de energia é comum a utilização de materiais densos, que refletem parte energia para o tampo superior. A colocação de um terceiro tampo abaixo do tampo inferior (fundo duplo) e em contato com o corpo do instrumentista, tem sido uma alternativa adotada por alguns construtores.

### **Desenhos de leques**

Muitos dos últimos desenvolvimentos na estrutura do violão têm se baseado em novas disposições e novos materiais aplicados ao leque. Após o desenvolvimento dos leques no século XIX por Torres, uma segunda revolução no sistema de estruturação interna dos tampos esta em curso com a utilização generalizada de leques em forma de grade outros tipos alternativos de leques.

Thomas Humphrey afirma que o leque tradicional é disposto erroneamente em relação à eficiência do movimento de balanço dos lados do violão. Ao contrário, ele inibiria o movimento porque os leques tradicionais se colocam paralelos à grã no centro, fazendo esta área mais fraca, e diagonalmente perto das laterais, acrescente rigidez onde o tampo já é rígido por se encontrar com as laterais (ERLEWINE & SINGER, 1996). Humphrey utiliza então tampos côncavos muito finos, com leques integrados (em forma de grade) na área da ponte para evitar distorções. O desenvolvimento dos leques de Humphrey está ilustrado na figura 4.10.

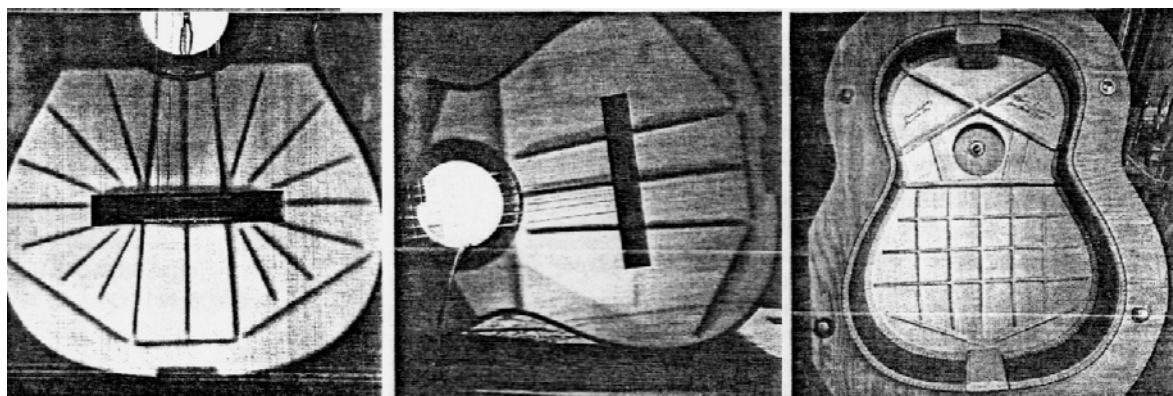


FIGURA 4.10: Evolução do leque utilizado por Humphrey de 1991, 1993 e 1995.

Greg Smallman (RICHARDSOM, 1994; GERKEN, 2001) também utiliza tampos de cedro extremamente finos, com leques em forma de grade. Entretanto para a manutenção da rigidez necessária mantendo a liberdade de vibração do tampo, ele utiliza suportes de madeira balsa reforçada com fibra de carbono, além de laterais e fundos pesados e laminados para a diminuição do fluxo de energia em direção ao corpo do instrumentista.

Outros tipos de leque como um tipo circular utilizado por Simon Marty (Austrália), que se concentraria na função “diafragmática” do tampo (DYER, 2002) ou leques do sistema KASHA (ver KASHA & KASHA, 1982), um dos precursores da revolução científica por que passou a construção de violões nas últimas duas décadas, são também boas experiências no melhoramento da resposta do violão em função de modificações no leque.

### **Outras perspectivas**

Thomas Hunphrey tem desenvolvido violões com um ângulo negativo (figuras 4.11 e 4.12) entre cordas e tampo. Segundo Humphrey este tipo de ação das cordas produz uma resposta robusta nas frequências agudas, enquanto o tampo menos espesso produz “graves profundos”, ou seja, uma melhor resposta nas frequências graves. Para ele a inclinação do tampo e a aproximação da carga das cordas sobre o tampo do modo como é realizado pela harpa, é um dos responsáveis pela potência dos seus instrumentos (ERLEWINE & SINGER, 1996). Este ângulo faz com que a transferência da energia vibracional das cordas se assemelhe ao vetor de força aplicado na ponte que têm o

melhor aproveitamento de energia, como demonstrado no experimento de RICHARDSOM (1997, p. 1631) ilustrado na figura 3.14 na seção 3.2.1.

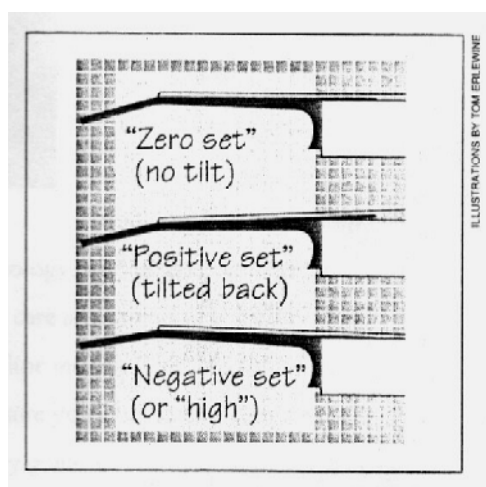


FIGURA 4.11: Tipos de Inclinação do ângulo das cordas com o tampo. FONTE: ERLEWINE & SINGER (1996)

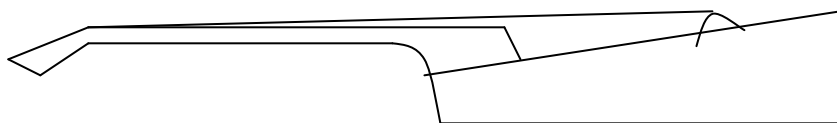


FIGURA 4.12: Esquema exagerado do tipo de solução para o aumento de inclinação negativa realizada no tampo por T. Humphrey.

Gernot Wagner (Alemanha) utiliza o leque tradicional e elabora um “sanduíche” de dois tampos muito finos (0,6 mm) de cedro, com uma camada de Fibra de Kevlar<sup>33</sup> no meio. Este procedimento reduz o peso do tampo em até 40%, mantendo a rigidez. Robert Ruck trabalha com diversas espécies de madeira nos tampos e em toda a estrutura do violão adequando-as segunda as necessidades estruturais (GERKEN, 2001).

Muitos outros materiais têm sido utilizados e experimentados com diferentes tipos de madeira e fibras sintéticas, com resultados bastante expressivos. No entanto a quase totalidade destas mudanças resulta no aumento da potência sonora ao custo de decaimentos rápidos e, de maneira geral, estas transformações parecem se convergir

<sup>33</sup> Kevlar é uma fibra para-aramida de baixo peso e grande resistência (cinco vezes mais resistente que o aço), utilizada inicialmente para a substituição do aço em pneus radiais.

para duas direções: o desenvolvimento de um novo instrumento com uma potência e timbre diferentes e possivelmente uma nova característica de repertório ou a inclusão da eletrônica moderna como parte intrínseca da performance do violão, na forma de sistemas de amplificação dedicados especificamente ao violão.

### **Amplificação**

A amplificação do violão clássico não é só uma questão de fidelidade ou de potência. Desde os primeiros amplificadores até os sistemas de alta fidelidade hoje disponíveis, as incursões do violão no terreno da amplificação resultaram no desenvolvimento de outros instrumentos distintos tais como os vários tipos de guitarras elétricas e violões elétricos. Curiosamente, o violão clássico coexiste com todos estes instrumentos mantendo-se isolado de qualquer tipo de eletrificação. Obviamente, a amplificação, por mais fiel que possa ser é, no mínimo, uma transformação de um importante parâmetro para a linguagem estética de qualquer estilo instrumental: o timbre. Alguns dos melhores construtores de violões clássicos têm considerado as possibilidades atuais de amplificação na construção de seus instrumentos, com a adição de instrumentos híbridos (acústicos e elétricos) em suas linhas de produção (GERKEN, 2001).

FLEISHMAN (s.d.) sugere que questões como estilo de música, estilo de toque (dedilhado ou rasgueado), tipo de audiência, magnitude do volume e fidelidade são os principais parâmetros para a escolha de um sistema de amplificação. O parâmetro de fidelidade é colocado como mais importante e depende intrinsecamente do nível de volume requerido: é possível ser muito fiel à sonoridade original em baixos níveis de volume. Entretanto para níveis altos os fatores se agravam com a perturbação da realimentação (popularmente conhecida como microfonia) e dos chiados de alta frequência.

Os chamados *transdutores* atuam na transformação da energia mecânica do som do violão em energia elétrica para a amplificação. Para o violão encontramos três tipos de transdutores: microfones, captadores magnéticos e captadores piezelétricos. Os microfones bem colocados são provavelmente a forma mais fiel de reprodução do som no violão, mas bons microfones são caros e podem ser sensíveis a efeitos de campo como reflexão e problemas de fase. Para o violão, os tipos de microfones mais práticos

são os microfones de *eletreto*, que são muito baratos e, por seu tamanho diminuído, podem ser facilmente instalados dentro do violão, mantendo uma boa sensibilidade. *Captadores magnéticos* são utilizados normalmente para cordas metálicas, pois dependem da perturbação do campo magnético em sua volta, mas podem captar também vibrações do tampo. *Captadores piezelétricos* são baseados em cristais que quando flexionados, induzem uma corrente análoga à vibração a qual foram submetidos. Os captadores piezelétricos colocados abaixo do rastilho são a forma de amplificação mais utilizada atualmente. Não apresentam problemas de realimentação neste local, mas tendem a captar excessivamente o padrão de vibração das cordas. Colocados em outras superfícies vibrantes podem também apresentar problemas de realimentação, mas acoplados a uma ventosa são uma forma muito barata e versátil de manipular a resposta da amplificação pela escolha da área do tampo em que será acoplada a ventosa. Áreas mais rígidas (e.g.: perto das laterais) tendem a responder melhor à frequência médias e agudas, enquanto áreas mais centrais no tampo tendem a responder melhor à frequências graves. Há a possibilidade de realizar combinações entre os vários tipos de colocação de microfones e realizar mixagens posteriores. Maiores detalhes sobre aspectos técnicos podem ser encontrados em FLEISHMAN (s.d.).

Uma interessante e simples idéia sobre amplificação chamada de *black box*, é apresentada por LANDI (2002). O sistema de amplificação proposto consiste em posicionar discretamente uma caixa amplificada abaixo da cadeira do violonista, que tenderia amplificar o som do violão com um padrão de direcionalidade próximo aos padrões emitidos pelo violão além de eliminar a presença visual de caixas acústicas no palco. O próprio autor alerta sobre os perigos de realimentação ocasionada pela pequena distância entre o violão e o alto-falante, mas se considerarmos que necessidades de performance no violão clássico exigem na maioria dos casos, apenas um “reforço” na potência sonora, esta proposta constitui uma opção extremamente viável.

Em recente questionário enviando a lista eletrônica de discussão Cguitar-list (2002), onde foram colocadas questões sobre as estratégias dos violonistas para a resolução dos problemas de volume sonoro do instrumento, várias respostas observaram a facilidade e

qualidade dos sistemas de amplificação hoje disponíveis<sup>34</sup>. De fato, o desenvolvimento de processos de amplificação otimizados para o violão, e que sejam tão abrangentes como foi, por exemplo, a introdução do Nylon na construção das cordas, constitui uma linha de pesquisa e desenvolvimento ainda não explorada, mas com amplas perspectivas de crescimento. A aplicação sistemática e abrangente de amplificação no violão, ainda que venha se tornar uma realidade prática para o violonista, pode também constituir um impacto sobre a proposta timbrística do instrumento. Da mesma forma, as tentativas de incremento do volume tanto pela transformação do instrumento quanto pelo trabalho técnico do instrumentista também parecem estar acompanhadas de transformações no atributo timbre. A eficácia dos aspectos da técnica violonística na aquisição de volume será discutida e verificada por metodologias experimentais no próximo capítulo, em uma abordagem mais específica sobre as possibilidades do timbre e do volume do instrumento.

---

<sup>34</sup> A maioria dos entrevistados reside em países onde o acesso a salas de concerto modernas e a aquisição de tais sistemas para o músico é bem mais viável.

## Capítulo 5 - Trabalho experimental

### 5.1. Objetivos do estudo

Os elementos mais utilizados para a manipulação do volume na técnica de execução violonística foram analisados com o objetivo de observar sua influência na percepção do volume sonoro. O centro do trabalho experimental consiste na verificação das diferenças de volume percebido entre pares de sons de timbres diferentes por meio de testes subjetivos, com a finalidade de avaliar as influências de modos e regiões de ataque no volume percebido. A capacidade de variação de volume no violão pelos recursos técnicos de execução é bem descrita na literatura, que apresenta o ataque Apoiado e a região de ataque Sul-Ponticello como os recursos mais eficientes na aquisição de volume (SOR, 1980; TAYLOR, 1990; PAVLIDOU, 1997; PUJOL, 1969; GLISE, 1997). Entretanto, a influência específica das características espectrais do som do violão na percepção do volume não foi ainda devidamente discutida, e será abordada como problema central do trabalho experimental.

### 5.2. Aquisição de dados

#### 5.2.1. Escolha das notas

Uma base de sons que englobasse todas as notas do violão contendo todos os possíveis recursos técnicos tornaria o estudo excessivamente extenso, principalmente em relação à duração dos testes auditivos e à manipulação dos dados e resultados. Por isso a base de

sons foi limitada a um universo de 24 notas, sendo 4 notas para cada corda até a 12ª casa.

Buscando uma amostragem das diversas regiões timbrísticas do violão, optou-se por definir 4 posições diferentes que pudessem representar minimamente o conjunto de todas as notas do violão: corda solta, terceira casa, sétima casa e décima segunda casa (tabela 5.1). As posições das notas foram escolhidas pela aparente frequência de utilização no repertório e pela equidistância na distribuição das notas no braço do violão.

A altura das notas foi baseada na notação mais frequentemente utilizada na acústica musical a partir do qual a nota Dó 1 é a primeira nota dó audível (31 Hz). Consequentemente o dó central será considerado dó-4.

Corda	Corda Solta		3ª Casa		7ª Casa		12ª Casa	
	Nota e posição no braço do violão	Freq. (Hz)	Nota e posição no braço do violão	Freq. (Hz)	Nota e posição no braço do violão	Freq. (Hz)	Nota e posição no braço do violão	Freq. (Hz)
1ª	Mi 4 – 10	329,6	Sol 4 – 13	392,0	Si 4 – 17	493,9	Mi 5 – 112	659,3
2ª	Si 3 – 20	246,9	Re 4 – 23	293,7	Fa # 4 – 27	370,0	Si 4 – 212	493,9
3ª	Sol 3 – 30	196,0	Lá # 3 – 33	233,1	Re 4 – 37	293,7	Sol 4 – 312	392,0
4ª	Re 3 – 40	146,8	Fa 3 – 43	174,6	La 3 – 47	220,0	Re 4 – 412	293,7
5ª	La 2 – 50	110,0	Do 3 – 53	130,8	Mi 3 – 57	164,8	La 3 – 512	220,0
6ª	Mi 2 – 60	82,4	Sol 2 – 63	98,0	Si 2 – 67	123,5	Mi 3 – 612	168,8

TABELA 5.1: Frequência, altura e posição das notas utilizadas para os experimentos.

### **Descrição da nomenclatura**

O número inicial identifica a posição da nota ao longo do braço do violão:

- O primeiro número de 1 a 6 representa a corda (iniciando pela corda mais aguda).
- Os últimos números representam as casas 0 (corda solta), 3, 7 ou 12. Ex.: 512 – corda cinco, casa 12.

Cada nota foi gravada com 6 tipos de ataques diferentes obtidos com o cruzamento de dois tipos de ataque - **Apoiado e Tirando** – com três posições de ataque - **Sul-Ponticello, Normal (ordinário) e Sul-Tasto** – resultando em 6 combinações distintas, listadas na tabela 5.2, que indica a nomenclatura utilizada para cada combinação.

Rótulos de classificação	
A	tn – Tirando Normal
B	tp – Tirando Sul-Ponticello
C	tt – Tirando Sul-Tasto
D	an – Apoiado Normal
E	ap – Apoiado Sul-Ponticello
F	at – Apoiado Sul-Tasto

TABELA 5.2: Variantes de ataques utilizados e rótulos de classificação nas listas computacionais.

Desta forma cada som é identificado por sua altura, corda, posição no braço e tipo de ataque:

[Número da altura] [letra do tipo de ataque]

Exemplo: **13D** – Nota Sol 3 situada na primeira corda/terceira casa tocada com Apoiado e Sul-Ponticello.

A escolha destes parâmetros dentro da paleta de recursos técnicos violonísticos obedeceu a seguinte lista de critérios já discutidos nos capítulos anteriores:

- Possibilidade e magnitude de alteração das qualidades timbrísticas do som do violão
- Relacionamento com estratégias de incremento de volume.
- Frequência de utilização na técnica violonística.
- Devida descrição pela da literatura técnica.

### 5.2.2. Metodologia de gravação

Foi utilizada uma taxa de amostragem de 44100 Hz em 16 bits nos processos de gravação e edição nas amostras. As gravações foram realizadas no auditório da Escola de Música da UFMG, nas quais foram utilizados dois microfones AKG dispostos a 15 cm e 1 m respectivamente, com captação em canais independentes. A partir de uma comparação entre níveis de volume, reverberação e ruído do sinal do auditório a captação a 15 cm de distância foi adotada. Este procedimento foi utilizado para

verificação Foi utilizado um violão construído por Antônio de Pádua de 1995, uma variante do modelo de Torres, com tampo de pinho alemão “Engelman”, laterais e fundo em Jacarandá da Bahia e cordas de nylon Savarez Corum.

### 5.2.3. Metodologia de execução

#### Maximização da intensidade

Todas as notas contidas no experimento foram executadas pelo autor. Uma vez que todo o trabalho experimental se baseia nas estratégias de incremento do volume sonoro do violão, as notas executadas foram tocadas com maior força possível até um limite onde os ruídos e batimentos da corda na estrutura do violão fossem “aceitáveis” dentro da proposta estética do que consideramos o timbre do violão “erudito” ou “clássico”. Este limite, normalmente chamado de “estouro” da corda, não pode ser generalizado pois depende da posição de ataque na corda, da direção do deslocamento da corda, da tensão da corda, da qualidade do violão, da regulagem da distância entre cordas e espelho e da forma do plectro. Desta forma, cada nota gravada foi antecedida por ataques sucessivos acima e abaixo do “limite de estouro” até alcançar um ataque bem próximo, mas anterior a este limite. Este procedimento pode ser observado na figura 5.1. Desta forma pretendeu-se uma aproximação máxima de um ataque com maior volume possível.



FIGURA 5.1: Sucessão de ataques, posterior liberação de uma nota 13ª (sol 4), e parte utilizada para o experimento.

#### Abafamento das ressonâncias

Durante a gravação, as cordas não utilizadas foram abafadas para a diminuição das ressonâncias por simpatia ou transferência de energia via estrutura do violão. Mesmo não sendo um procedimento usual em performance, optou-se por este procedimento a

fim de evitar que tais alterações no conteúdo das gravações pudessem atrapalhar resultados de análises e testes, bem como dificultar outros procedimentos durante a pesquisa. A figura 5.2 mostra a utilização de abafadores nas cordas.



FIGURA 5.2: Abafadores de espuma utilizados para diminuição das ressonâncias de outras cordas durante a gravação.

### **Normalização da posição de ataque**

No intuito de se manter a mesma proporção de excitação dos modos de vibração da corda para as diversas notas dispostas ao longo do braço, foi mantida a mesma proporção entre o comprimento da corda e a distância entre a ponte até o ponto de ataque para todas as notas (como discutido na seção 3.3.1) de uma mesma posição de ataque. A tabela 5.3 indica as distâncias de ataque a partir da ponte para os quatro comprimentos de corda gerados pelas quatro posições utilizadas, corda solta, 3<sup>a</sup>, 7<sup>a</sup> e 12<sup>a</sup> casa respectivamente:

Posição de ataque	Proporção entre os comprimentos da corda (C) e o ponto de ataque até a ponte	Corda solta	3 <sup>a</sup> casa	7 <sup>a</sup> casa	12 <sup>a</sup> casa
		(C=653 mm)	(C=550 mm)	(C=436 mm)	(C=327 mm)
Sul-Tasto	1/2	327	275	218	163
Ordinário	1/5	131	110	87	65
Sul-Ponticello	1/10	65	55	44	33

TABELA 5.3: Distâncias do ponto de ataque à ponte para cada posição e ataque. (unidades em milímetros)

### **Normalização do tipo de ataque**

A direção do deslocamento da corda depende muito do tipo de posicionamento (técnico) da mão utilizado pelo violonista, e tem uma influência sobre o timbre e a potência de vibração na corda. Optou-se por utilizar somente um posicionamento de ataque em “diagonal” como ilustrado na figura 5.3, que corresponde à técnica adotada regularmente pelo autor. Este posicionamento oferece um ataque mais diagonal na posição Sul-Tasto, intermediário na posição normal e quase perpendicular na posição Sul-Ponticello, o que reforça as características timbrísticas já inerentes a estas posições de ataque.

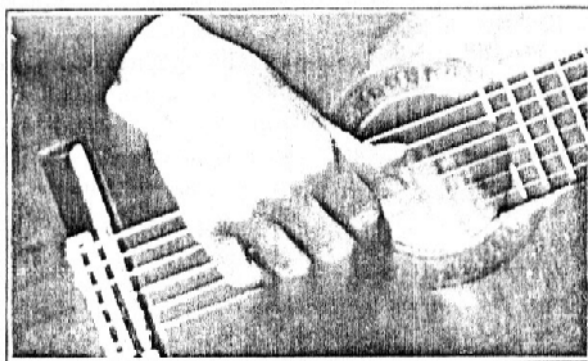


FIGURA 5.3: Tipo de ataque utilizado nas gravações. FONTE: TAYLOR (1990)

## **5.3. Metodologia dos testes auditivos**

### **MEDS**

Todos os testes auditivos realizados no âmbito deste estudo utilizaram a plataforma MEDS – Music Experiment Development System na montagem dos experimentos. Esta ferramenta aumentou consideravelmente as possibilidades de realização de experimentos, devido à agilidade oferecida pelo sistema.

O software MEDS<sup>35</sup> – Music Experiment Development System (KENDALL, 2001) – desenvolvido por Roger A. Kendall, objetiva o planejamento e execução de

---

<sup>35</sup> O programa é gratuito para fins educacionais e toda a documentação necessária pode ser transferida via Internet no endereço: <<http://www.ethnomusic.ucla.edu/systematic>>.

experimentos flexíveis e interativos controlados por computador, nas áreas de psicoacústica, cognição e percepção musical e psicologia da música. Além do ambiente de modelagem experimental, o sistema integra ferramentas para síntese, análise e resíntese de sinais tais como análise RMS, Centróide e FFT. A interface com o usuário mostrada na figura 5.4 é bastante amigável, facilitando a manipulação dos estímulos.

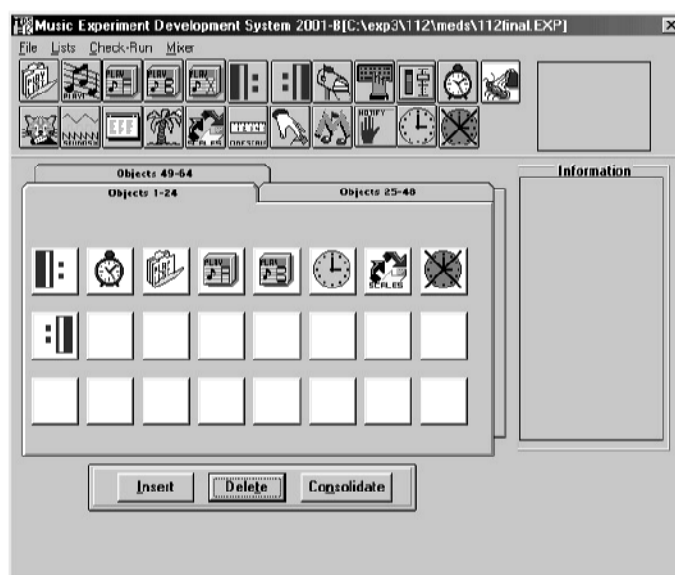


FIGURA 5.4: Interface de planejamento dos experimentos.

Os arquivos de som das amostras apresentadas para os sujeitos foram organizados em vários tipos de combinações e cruzamentos em ordem aleatória, enquanto a ordem da lista de resultados foi preservada pelo mecanismo de registro de resultados do software MEDS. Após ouvir cada par de amostras os sujeitos realizaram avaliações orientando o cursor da régua de similaridade disposta pelo software MEDS como mostrado na figura 5.5.

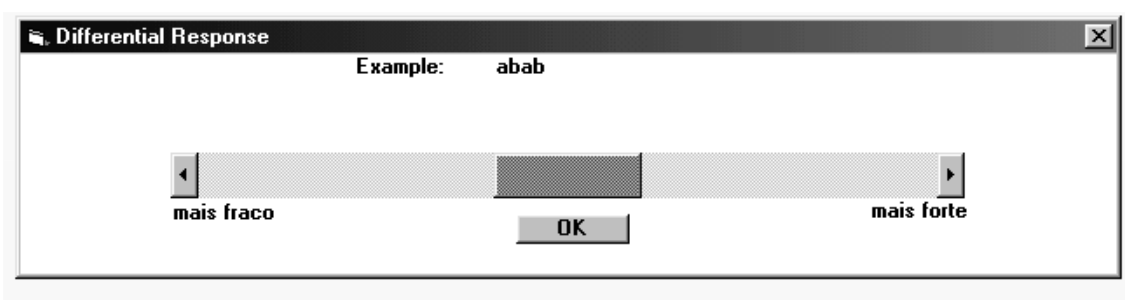


FIGURA 5.5: Régua de avaliação de após cada par de amostras ouvido.

Os resultados foram gerados em uma escala com cinco posições registradas por números inteiros de -2 a 2 (mais fraco= -2, igual= 0 e mais forte= 2), não visíveis ao sujeito. A edição e coleta destes resultados é feita em um editor de tabelas e depois facilmente exportada para outras plataformas.

Os testes foram realizados nos estúdios da Escola de Música da UFMG, os ouvintes foram posicionados a uma distância confortável do monitor de vídeo os estímulos foram reproduzidos através de fones de ouvido, conectados à saída de uma mesa que recebia o sinal mono do computador. Um volume confortável para a audição das amostras foi regulado na fase de treinamento e a duração aproximada do teste por sujeito é de 40 minutos, considerando uma média aproximada de 200 segundos para cada nota e geralmente 10 minutos de treinamento anterior.

## **5.4. Preparação das Amostras**

Como apresentado no Capítulo 4, o volume percebido é influenciado não apenas pela intensidade do som, mas também pela duração e altura. Para eliminar estas influências nos resultados dos testes auditivos as comparações foram limitadas pares de sons da mesma altura musical. A duração e intensidade dos sons foram normalizadas de acordo com a metodologia descrita a seguir. Na edição, equalização e classificação de todas as amostras foi utilizada a plataforma MATLAB (MATLAB, 2000), um sistema dedicado à manipulação de sinais digitais, assim como qualquer tipo de dado numérico.

### **5.4.1. Equalização da duração**

As amostras foram gravadas com uma duração mínima de 3 segundos, mas a utilização deste comprimento nos primeiros testes-piloto produziu seções de teste extensas devido à grande quantidade de amostras. A pouca relevância da porção final das amostras na percepção de volume e do timbre proporcionou a redução do tempo das amostras para um valor padrão de 1 segundo. Vários critérios sobre os períodos de adaptação na percepção do timbre e do volume foram considerados na escolha deste valor de duração:

- Alterações acima de um segundo de duração em sinais contínuos parecem não provocar desvios na percepção do volume, mas a saliência da duração cresce com timbres impulsivos ou em staccato. (HADJA et al., 1997)
- Eventos timbrísticos mais diferenciadores e de maior importância perceptiva que acontecem no som do violão, ocorrem normalmente em regiões bem abaixo de 1 segundo (e.g. o período de transientes que dura cerca de 100 ms e os decaimentos relativamente rápidos demonstrados na tabela 6.1).
- O pico de amplitude em um som no violão acontece poucos milissegundos após o ataque.
- Testes-piloto realizados durante a elaboração da metodologia não indicaram problemas de reconhecimento ou avaliação do volume com amostras de duração igual ou maior que 1 segundo.

#### **5.4.2. Equalização do volume**

Como já mencionado, a execução das notas obedeceu a um critério de aproximação do limite aceitável de força aplicada na corda com o objetivo de obter o volume máximo. Medições realizadas por WINCKEL (1967) e GREY (1975, p. 22) apontam para o fato de que, mesmo que o músico se esforce para conseguir um equilíbrio entre volumes de notas adjacentes, largas discrepâncias de nível de intensidade são encontradas.

Desta forma optou-se por equalizar as intensidades das amostras buscando isolar a dependência do volume percebido com o timbre ou o ataque.

##### **Equalização por pico de amplitude**<sup>36</sup>

A primeira tentativa de elaboração de uma metodologia foi realizada a partir de amostras normalizadas por pico de amplitude. Os sons assim normalizados foram apresentados em combinações aleatórias de pares de dois ataques, retirados do conjunto de seis ataques diferentes para cada nota, em um total de 30 pares (excluídas as repetições). As combinações foram montadas e gravadas em um CD, precedidas por 1 segundo de ruído e seguidas por um período de 10 segundos de duração para a avaliação pelo sujeito. A inserção de ruído antes dos pares foi utilizada na tentativa de eliminar

---

<sup>36</sup> Ponto da amostra onde a amplitude atinge seu valor máximo.

efeitos de memória auditiva que poderiam influenciar a avaliação do par subsequente (procedimento descartado nos testes posteriores). Exclusivamente neste teste foram utilizadas amostras de 3 segundos.

Os resultados e observações colhidos por um grupo de sujeitos composto de pesquisadores e estudantes da Escola de Música da UFMG indicaram um largo desvio nos resultados e dúvidas sobre o que deveria ser avaliado em amostras com grandes variações de envoltórias durante o tempo. Características relacionadas a diferenças entre envelopes e tipos de ataques foram os principais responsáveis pelas dúvidas, conferindo as observações de WRIGHT (1996, p. 215):

*“Care must be taken when interpreting perceived loudness because it depends not only on the initial amplitude of the plucked note, but also on its rate of decay.(...) The amplitude of string peaks in the guitar's sound pressure response does not therefore correspond directly with perceived loudness.”*

*“Deve-se tomar cuidado na interpretação do volume percebido porque ele não depende somente da amplitude inicial da nota, mas também de sua taxa de decaimento.(...) A amplitude dos picos das cordas na resposta da pressão sonora do violão não corresponde portanto, diretamente ao volume percebido”*

### **Equalização por Energia Média (RMS)**

Como já apresentado no Capítulo 3, o nível de energia média RMS está mais relacionado com o volume percebido quando medido em curtos espaços de tempo em sinais com pouca variação de potência. Visando minimizar as diferenças de valores de energia média RMS entre as amostras na região de ataque, buscou-se determinar um valor mínimo de duração das amostras, desde que não fosse alterar a percepção das diferenças do timbre.

Entretanto, para a validação deste procedimento foi necessário desenvolver uma metodologia que verificasse qual a menor duração da amostra em que a percepção não fosse alterada significativamente. A capacidade perceptiva utilizada para a avaliação deste período foi a capacidade de reconhecimento de similaridade timbrística entre

timbres do violão. As amostras foram cortadas após o ataque em durações diferentes, com um *fade out* de 30 ms para eliminar ruídos indesejáveis.

Cada som pertencente a um grupo de 12 sons com durações diferentes: 0,20, 0,40, 0,60, 0,80, 1,05 e 1,30 segundos foi apresentado juntamente com um som de referência de 3 segundos de duração. Metade das amostras deste grupo era composta de diferentes durações do mesmo som de referência e a outra metade de durações diferentes de timbres diferentes. Procurou-se assim avaliar a capacidade de reconhecimento de similaridades/dissimilaridades timbrísticas em diversos períodos de apresentação. O objetivo principal deste tipo de abordagem foi definir um limite de duração mínima no qual as amostras poderiam ser equalizadas sem prejuízo do reconhecimento timbrístico.

Poucos testes foram realizados com este modelo experimental, uma vez que questionamentos contundentes foram observados durante a elaboração e aplicação dos testes:

- A maioria dos sujeitos demonstrou dúvidas sobre como efetuar o reconhecimento de dois timbres iguais ou não, em pares de amostras com durações diferentes.
- Mesmo que os resultados apontassem para um nível aceitável de reconhecimento das amostras cortadas em 0.2 ou 0.4 segundos após o ataque, as diferenças entre as médias RMS dos diversos ataques ainda continuavam grandes, em parte geradas pelas diferenças de coeficientes de decaimentos entre os diferentes ataques estudados.

Observou-se que um dos grandes obstáculos para uma equalização aceitável do som do violão é a diversidade de formas da envoltória. A variação destas formas altera drasticamente a forma como a energia é distribuída ao longo do tempo, resultando em grandes diferenças entre valores de energia média RMS para ataques distintos. Foi testada então a equalização da envoltória, padronizando-se o contorno da envoltória para todas as amostras, com o auxílio do software Cool Edit e Sound Forge de edição de arquivos de som.

O resultado sonoro de tal processamento se mostrou inviável, uma vez que houve uma mudança significativa no aspecto timbrístico, já que toda a relação de amplitudes das frequências da distribuição espectral foi modificada, em uma região onde estas relações são muito significantes para a percepção do timbre.

Em função da importância das características perceptivas dos transientes presentes na porção do ataque do violão (já mencionadas no Capítulo 4), e da concentração dos pontos máximos de amplitude nesta região, optou-se por equalizar a energia nos primeiros instantes do sinal. A duração deste “instante inicial” do ataque foi chamada de  $\tau$  (Tau).

Fontes bibliográficas afirmam que valores aproximados do período de ocorrência de transientes de ataque em sons impulsivos e estacionários giram em torno de 50 ms (ou menos) a 150 ms (HADJA et al, 1997). Alguns trabalhos mais relacionados com a dinâmica dos transientes no violão apontam para um período aproximado de 100 ms (FIRTH, 1982; JANSSEN, 1982; TAYLOR, 1990). A necessidade de uma definição mais precisa destes valores de tempo se deve ao fato de que períodos  $\tau$  demasiadamente curtos tendem a amplificar os sons com tempos de ataque mais “lentos”. Por outro lado, valores de  $\tau$  demasiadamente longos tenderam a amplificar sons com tempos de decaimento mais curtos. Por esta razão, o valor de tempo  $\tau$  até o qual a energia foi equalizada para os seis tipos de ataques de cada nota foi determinado experimentalmente por testes auditivos que serão descritos a seguir.

### **Estimação do período de equalização**

Cada grupo de seis variações de ataques de cada nota foi editado para que apresentassem a média RMS igual para o período  $\tau$ . Os testes compararam os resultados do volume percebido de diferentes valores de  $\tau$  medido para vários sujeitos. O  $\tau$  mais adequado foi aquele que resultou nas menores variações do volume percebido nas comparações entre os ataques normalizados. Estas comparações não pretenderam equalizar o volume percebido, mas sim indicar em qual valor atribuído ao parâmetro de equalização  $\tau$  seriam observadas as menores diferenças de volume. Supôs-se que esta metodologia de equalização minimizaria a dependência da percepção do volume do nível de energia médio na região de ataque, priorizando influências das configurações espectrais, as quais se configuram um dos objetos principais desta pesquisa.

Foi necessário reduzir o número de amostras a serem utilizadas nos testes de estimação de  $\tau$ . Apenas as 12 notas abaixo listadas foram usadas, escolhidas segundo a possibilidade de maior representabilidade das diversas regiões timbrísticas e sua frequência de utilização:

Cordas agudas: Mi 4 – 112, Sol 3 – 13, Fá # 3 – 27, Si 2 – 20, Sol 3 – 312, Lá # 2 – 33.

Cordas graves: Lá 2 – 47, Re 2 – 40, La 2 – 512, Dó 1 – 53; Si 1 – 67, Mi 1 – 60

Foram utilizados 5 valores para  $\tau$  – 0,03, 0,05, 0,08, 0,10 e 0,15 segundos. O critério de escolha se balizou nas referências encontradas na bibliografia consultada – 0,05; 0,08 e 0,10 segundos (HADJA et al, 1997; FIRTH, 1982; TAYLOR, 1990) - acrescidas de uma margem de abrangência acima e abaixo destas referências (0,03 e 0,15 segundos). As amostras foram todas apresentadas com 1 segundo de duração e um *fade out* de 50 ms para a diminuição de ruídos causados pelo corte brusco do sinal. A equalização foi realizada utilizando o software MATLAB (2000) a partir da operação descrita na equação abaixo:

$$x(t)_{norm} = \frac{x}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2}}$$

Onde  $x_{norm}$  é o sinal  $x$  normalizado em energia média unitária até o instante  $\tau$  e  $N$  o número de amostras corresponde ao período  $\tau$ .

Os sinais normalizados foram multiplicados pelo maior valor de amplitude de todas as amostras para evitar que o sinal fosse alterado por corte nos limites máximos da representação digital e garantir o máximo índice sinal/ruído nos testes auditivos.

Uma vez que o objetivo deste teste foi determinar as menores diferenças entre as comparações de volume, e não inferir objetivamente sobre o peso de cada timbre no volume percebido, optou-se pela combinação dos tipos de ataque com um ataque padrão (Ataque A – tirando normal) que é o ataque mais comum na técnica violonística. Este procedimento reduziu a duração dos testes e possibilitou o aumento das variáveis (períodos de equalização  $\tau$ ).

Desta forma, seis combinações de pares constituídos de uma amostra com ataque ‘A’ (ataque tirando-normal, tomado como timbre “padrão”), e outra amostra escolhida aleatoriamente do o conjunto dos os seis tipos de ataque estudados (A, B, C, D, E e F) foram apresentadas resultando em 5 séries de 6 pares de combinações para cada nota

mostrada na tabela 5.4. Cada combinação foi separada por 1 segundo de silêncio após a resposta do sujeito.

Períodos $\tau$	Tipos de ataque					
	A	B	C	D	E	F
0,03	AA	AB	AC	AD	AE	AF
0,05	AA	AB	AC	AD	AE	AF
0,08	AA	AB	AC	AD	AE	AF
0,1	AA	AB	AC	AD	AE	AF
0,15	AA	AB	AC	AD	AE	AF

Legenda	
A	tn – Tirando Normal
B	tp – Tirando Sul-Ponticello
C	tt – Tirando Sul-Tasto
D	an – Apoiado Normal
E	ap – Apoiado Sul-Ponticello
F	at – Apoiado Sul-Tasto

TABELA 5.4: Tabela de combinações apresentadas (aleatoriamente) para cada sujeito em cada nota. O padrão timbrístico A aparece em todas as combinações.

Os resultados graduados de -2 a 2 (-2 = mais fraco, 2 = mais forte e 0 = volume igual ) foram armazenados em um arquivo específico do programa MEDS.

Antes de realizar os testes, todos os sujeitos foram treinados por uma simulação. Antes da simulação as seguintes instruções eram apresentadas na tela que antecede o ambiente do teste:

.....ORIENTAÇÃO PARA O Treinamento.....

Ouçá com atenção os pares de amostras e responda sobre o volume da SEGUNDA amostra em relação à primeira.

A barra onde serão marcadas as respostas tem um bloco (cursor) que poderá ser movimentado em 5 gradações entre 'MAIS FRACO' e 'MAIS FORTE'.

Respostas nas EXTREMIDADES da barra indicam que HÁ CERTEZA que a SEGUNDA amostra é MAIS FRACA ou MAIS FORTE que a primeira.

Respostas no CENTRO da barra indicam que HÁ CERTEZA que duas amostras têm volume IGUAL.

Respostas entre as extremidades e o centro da barra indicam que NÃO há muita CERTEZA sobre a resposta, mas há uma inclinação para alguma resposta.

Após movimentar o cursor, clique em Ok, ouça as próximas amostras e espere o cursor se mover aleatoriamente antes responder.

Caso tenha alguma dúvida pergunte ao pesquisador durante o TREINAMENTO ou após a primeira série do treinamento.

(durante o teste não poderá haver interrupções)

**Resultados**

Um total de 6 sujeitos foi submetido ao teste. A consistência das respostas foi observada a partir dos resultados de pares idênticos (5 ataques idênticos por nota testada). Todos os sujeitos eram músicos enquanto a metade era composta de violonistas. Um exemplo do resultado é mostrado na tabela 5.5 e 5.6.

$\tau$ (tau)	Sujeitos	Tipos de Ataques					
		A	B	C	D	E	F
$\tau$ 0,03	s1	0	2	-2	-2	1	-2
	s2	0	2	2	-1	2	-1
	s3	0	1	0	-2	0	-1
	s4	0	2	1	-1	2	-2
	s5	0	2	2	-1	2	-1
	s6	0	2	2	-2	2	-2
	<b>Média</b>	0,00	1,83	0,83	-1,50	1,50	-1,50
	<b>Desv. P.</b>	0,00	0,41	1,60	0,55	0,84	0,55
	Sujeitos	A	B	C	D	E	F
$\tau$ 0,05	s1	0	2	-1	-1	0	-2
	s2	0	2	1	-1	2	-2
	s3	0	1	0	-2	0	-2
	s4	0	2	-1	-1	2	-2
	s5	0	1	2	-1	1	-1
	s6	0	2	2	-2	2	-2
	<b>Média</b>	0,00	1,67	0,50	-1,33	1,17	-1,83
	<b>Desv. P.</b>	0,00	0,52	1,38	0,52	0,98	0,41
	Sujeitos	A	B	C	D	E	F
$\tau$ 0,08	s1	0	2	0	-1	1	-2
	s2	0	2	0	0	2	-2
	s3	0	1	0	-2	1	-2
	s4	0	2	1	-2	0	-2
	s5	0	2	0	-2	1	-2
	s6	0	2	1	-1	2	-2
	<b>Média</b>	0,00	1,83	0,33	-1,33	1,17	-2,00
	<b>Desv. P.</b>	0,00	0,41	0,52	0,82	0,75	0,00
	Sujeitos	A	B	C	D	E	F
$\tau$ 0,1	s1	0	2	0	-2	1	-2
	s2	0	2	-1	-1	1	-2
	s3	0	1	0	-1	0	-2
	s4	0	2	1	-1	1	-2
	s5	0	2	-1	-1	1	-2
	s6	0	2	0	1	2	-2
	<b>Média</b>	0,00	1,80	-0,20	-0,60	1,00	-2,00
	<b>Desv. P.</b>	0,00	0,45	0,84	0,89	0,71	0,00
	Sujeitos	A	B	C	D	E	F
$\tau$ 0,15	s1	0	2	-1	-1	1	-2
	s2	0	2	0	-1	1	-2
	s3	0	-1	0	-1	0	-2
	s4	0	2	-1	-2	1	-2
	s5	0	2	0	-1	1	-2
	s6	0	2	0	-2	2	-2
	<b>Média</b>	0,00	1,50	-0,33	-1,33	1,00	-2,00
	<b>Desv. P.</b>	0,00	1,22	0,52	0,52	0,63	0,00
	Sujeitos	A	B	C	D	E	F

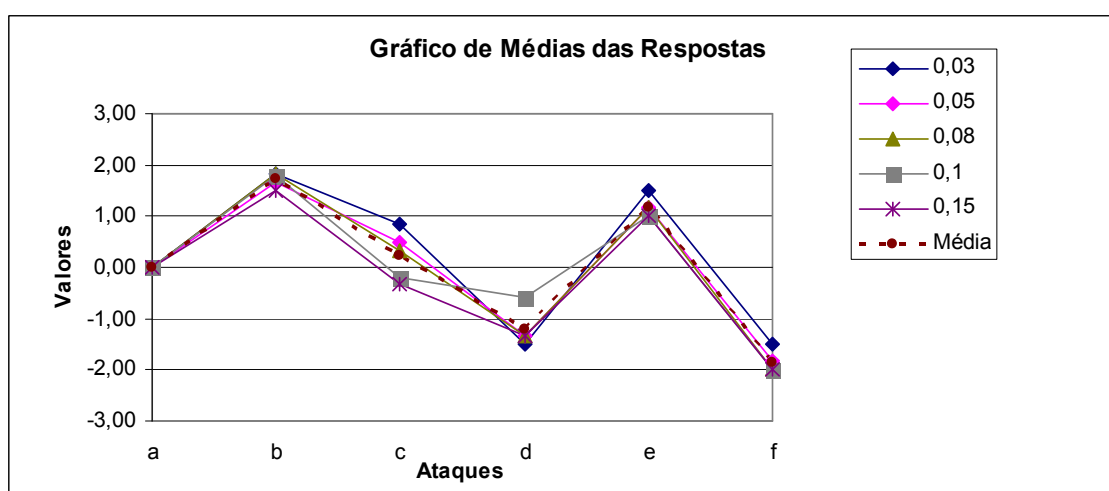
TABELA 5.5: Resultados obtidos na avaliação na nota 512, para diferentes valores de  $\tau$ .

Tau	A	B	C	D	E	F
0,03	0,00	1,83	0,83	-1,50	1,50	-1,50
0,05	0,00	1,67	0,50	-1,33	1,17	-1,83
0,08	0,00	1,83	0,33	-1,33	1,17	-2,00
0,1	0,00	1,80	-0,20	-0,60	1,00	-2,00
0,15	0,00	1,50	-0,33	-1,33	1,00	-2,00
Média	0,00	1,73	0,23	-1,22	1,17	-1,87
Desvio padrão	0,00	0,14	0,49	0,35	0,20	0,22

Legenda	
A	tn – Tirando Normal
B	tp – Tirando Sul-Ponticello
C	tt – Tirando Sul-Tasto
D	an – Apoiado Normal
E	ap – Apoiado Sul-Ponticello
F	at – Apoiado Sul-Tasto

TABELA 5.6: Médias de todos os sujeitos, média de todas as médias e desvio padrão das médias para nota 512.

FIGURA 5.6: Médias das respostas dos sujeitos por  $\tau$  e média das médias para a nota 512.

O  $\tau$  estimado foi aquele que apresentou a menor distância euclidiana  $c$  entre os resultados dos testes de volume percebido, e suas médias, calculada pela seguinte equação:

$$c = \sum_{z=1}^6 \left( e_z^{\tau} - \bar{e}_z \right)^2$$

Onde  $z = 1,2,3,4,5,6$  corresponde aos tipos de ataque A, B, C, D, E, F, respectivamente;  $\bar{e}$  é a média das respostas em todos os ataques.

Nota	$\tau$ (Tau em segundos)
112	0,10
13	0,08
27	0,08
20	0,10
312	0,08
33	0,05
47	0,08
40	0,05
512	0,08
53	0,08
67	0,08
60	0,10

TABELA 5.7: Período  $\tau$  escolhido para cada nota.

A estimação dos valores mais adequados para  $\tau$  gerou resultados dos resultados entre 0,05 e 0,10 segundos, e uma recorrência de 58 % no período de 0,08 segundos para  $\tau$ , como mostra a tabela 5.7. Estes resultados parecem confirmar os períodos de transientes de sons impulsivos citados na bibliografia para a equalização do volume. As tabelas e gráficos dos resultados estão dispostos no ANEXO A, ao final do texto.

Apesar da recorrência do valor 0,08 segundos na estimação de  $\tau$  em todas as notas, optou-se por manter o valor individual de  $\tau$  para cada nota buscando manter a especificidade das características de cada nota no violão, que podem apresentar distribuições de energia diferentes em para cada região do violão.

## 5.5. Avaliação de volume percebido

### Metodologia

O teste final de avaliação do volume percebido consistiu na simples apresentação aleatória de pares de combinações entre os timbres com amplitudes normalizadas de uma mesma nota, e comparação do volume entre as duas amostras do par. Este teste objetivou a verificação de possíveis tendências na influência dos tipos de timbre dos ataques do violão no volume percebido.

Os procedimentos utilizados na apresentação deste teste foram muito semelhantes ao teste anterior (equalização por período  $\tau$ ), mas envolveram a apresentação em ordem aleatória de 36 combinações mostradas na tabela 5.8. A ordem de apresentação dos pares (AB e BA por exemplo) e a repetição de amostras (AA, BB, etc.) foram considerados visando a validação do teste. Um total de 6 sujeitos foi submetido a este teste, todos músicos, sendo a metade violonistas.

		Segundo ataque					
		A2	B2	C2	D2	E2	F2
Primeiro ataque	A1	AA	AB	AC	AD	AE	AF
	B1	BA	BB	BC	BD	BE	BF
	C1	CA	CB	CC	CD	CE	CF
	D1	DA	DB	DC	DD	DE	DF
	E1	EA	EB	EC	ED	EE	EF
	F1	FA	FB	FC	FD	FE	FF

Legenda	
A	tn – Tirando Normal
B	tp – Tirando Sul-Ponticello
C	tt – Tirando Sul-Tasto
D	an – Apoiado Normal
E	ap – Apoiado Sul-Ponticello
F	at – Apoiado Sul-Tasto

TABELA 5.8: Combinações geradas com os seis tipos de ataque.

## Resultados

A partir dos resultados foram elaborados gráficos para cada um dos ataques testados como mostrado na figura 5.7. As matrizes e gráficos de todas as notas estão dispostos no ANEXO B ao final do texto. A tabela 5.9 mostra os resultados obtidos para cada tipo de ataque da nota 512. A última linha de cada tabela mostra as médias entre os seis ataques, e são apresentadas na tabela 5.10, juntamente com a tabela de desvio padrão. Ataques com a nomenclatura de A1 a F1 referem-se aos ataques que antecedem os ataques A2 a F2. A pergunta sobre volume tem como referência o segundo som em comparação ao primeiro.

A utilização da média aritmética nos resultados foi validada com o teste de significância (teste-t de hipóteses) mostrado na tabela 5.10 (b). Algumas notas apresentaram poucas médias significativas devido à dispersão de resultados, desta forma exige-se cuidado na interpretação do significado das algumas médias como as apresentadas na tabela 5.9 que podem encobrir grandes variações de resultados. Da mesma forma, médias aritméticas utilizadas nos testes de estimação do período de equalização (sem uma verificação estatística), devem ser consideradas com cuidado, carecendo de revisões e novos tratamentos na interpretação destes resultados em trabalhos futuros.

Ataque A1	Sujeitos	A2	B2	C2	D2	E2	F2
	s1	0	0	0	1	-1	2
	s2	0	1	1	1	1	1
	s3	0	0	1	0	0	1
	s4	0	1	1	1	-1	-1
	s5	0	-1	-1	0	-1	-1
	s6	0	2	1	0	-2	-2
	Média	0,00	0,50	0,50	0,50	-0,67	0,00

Ataque D1	Sujeitos	A2	B2	C2	D2	E2	F2
	s1	-1	0	-1	0	0	-2
	s2	0	0	-2	0	1	-1
	s3	0	1	1	0	0	1
	s4	-1	1	-1	0	-1	1
	s5	0	0	-1	0	0	-1
	s6	0	0	2	0	-2	2
	Média	-0,33	0,33	-0,33	0,00	-0,33	0,00

Ataque B1	Sujeitos	A2	B2	C2	D2	E2	F2
	s1	-1	0	-1	-1	0	0
	s2	0	0	-1	1	0	-1
	s3	-1	0	-1	-1	0	1
	s4	1	0	1	0	0	-1
	s5	1	0	-1	1	0	1
	s6	2	0	2	2	-1	2
	Média	0,33	0,00	-0,17	0,33	-0,17	0,33

Ataque E1	Sujeitos	A2	B2	C2	D2	E2	F2
	s1	0	0	1	1	0	-1
	s2	0	0	1	0	0	1
	s3	2	1	1	0	0	-1
	s4	2	-1	1	1	0	1
	s5	1	0	1	1	0	1
	s6	2	0	2	2	0	2
	Média	1,17	0,00	1,17	0,83	0,00	0,50

Ataque C1	Sujeitos	A2	B2	C2	D2	E2	F2
	s1	0	-1	0	1	-1	0
	s2	0	1	0	1	1	0
	s3	0	1	0	-1	1	0
	s4	1	2	0	1	-1	-1
	s5	0	-1	0	1	1	0
	s6	-2	-2	0	2	-2	0
	Média	-0,17	0,00	0,00	0,83	-0,17	-0,17

Ataque F1	Sujeitos	A2	B2	C2	D2	E2	F2
	s1	0	2	0	1	1	0
	s2	0	1	0	1	1	0
	s3	0	1	0	-1	1	0
	s4	2	1	0	2	-1	0
	s5	1	-1	0	1	-1	0
	s6	-2	2	0	-2	-2	0
	Média	0,17	1,00	0,00	0,33	-0,17	0,00

Legenda	
A	tn – Tirando Normal
B	tp – Tirando Sul-Ponticello
C	tt – Tirando Sul-Tasto
D	an – Apoiado Normal
E	ap – Apoiado Sul-Ponticello
F	at – Apoiado Sul-Tasto

TABELA 5.9 (A-F): Tabelas de resultados para todos os tipos de ataque da nota Si-4 (27). As linhas s1 a s6 indicam os resultados para cada sujeito. As nomenclaturas das tabelas A1 a F1 indicam o primeiro som tocado, as colunas A2 a F2 indicam o segundo som tocado (os sujeitos responderam o teste tomando como referência o segundo som). A igualdade de volume é representada pelo número 0, as avaliações de volume maior ou menor são indicadas por números positivos e negativos, respectivamente, situados entre -2 e 2.

(a) Médias de resultados por ataque *						
Ataque	A2	B2	C2	D2	E2	F2
A1	0,00	0,50	0,50	<b>0,50</b>	-0,67	0,00
B1	0,33	0,00	-0,17	0,33	-0,17	0,33
C1	-0,17	0,00	0,00	<b>0,83</b>	-0,17	-0,17
D1	-0,33	0,33	-0,33	0,00	-0,33	0,00
E1	<b>1,17</b>	0,00	<b>1,17</b>	<b>0,83</b>	0,00	0,50
F1	0,17	<b>1,00</b>	0,00	0,33	-0,17	0,00

\* Resultados do teste de significância - valores em **negrito** indicam médias significativas para  $p=0,10$ , células **sombreadas** indicam resultados significativos para  $p=0,05$ .

(b) Desvio padrão entre sujeitos						
Ataque	A2	B2	C2	D2	E2	F2
A1	0,00	1,05	0,84	0,55	1,03	1,55
B1	1,21	0,00	1,33	1,21	0,41	1,21
C1	0,98	1,55	0,00	0,98	1,33	0,41
D1	0,52	0,52	1,51	0,00	1,03	1,55
E1	0,98	0,63	0,41	0,75	0,00	1,22
F1	1,33	1,10	0,00	1,51	1,33	0,00

(c) Média das médias entre inversões de ordem						
Ataque	A2	B2	C2	D2	E2	F2
A1	0,00	-0,42	0,33	0,42	-0,92	-0,08
B1	0,42	0,00	0,00	-0,33	0,00	-0,50
C1	-0,33	0,00	0,00	0,58	-0,67	0,00
D1	-0,42	0,33	-0,58	0,00	-0,58	-0,17
E1	0,92	0,00	0,67	0,58	0,00	0,33
F1	0,08	0,50	0,00	0,17	-0,33	0,00

Legenda	
A	tn – Tirando Normal
B	tp – Tirando Sul-Ponticello
C	tt – Tirando Sul-Tasto
D	an – Apoiado Normal
E	ap – Apoiado Sul-Ponticello
F	at – Apoiado Sul-Tasto

TABELA 5.10: Médias e desvio padrão para cada tipo de ataque da nota Si-3 (27). A primeira tabela (a) de médias indicam os valores significativos obtidos pela realização de teste-p nos níveis de significância 0,10 e 0,05. A Tabela (b) mostra os desvios padrão para cada nota e a tabela (c) as médias entre as inversões de ordem (e.g. resultados dos cruzamentos AB e BA)

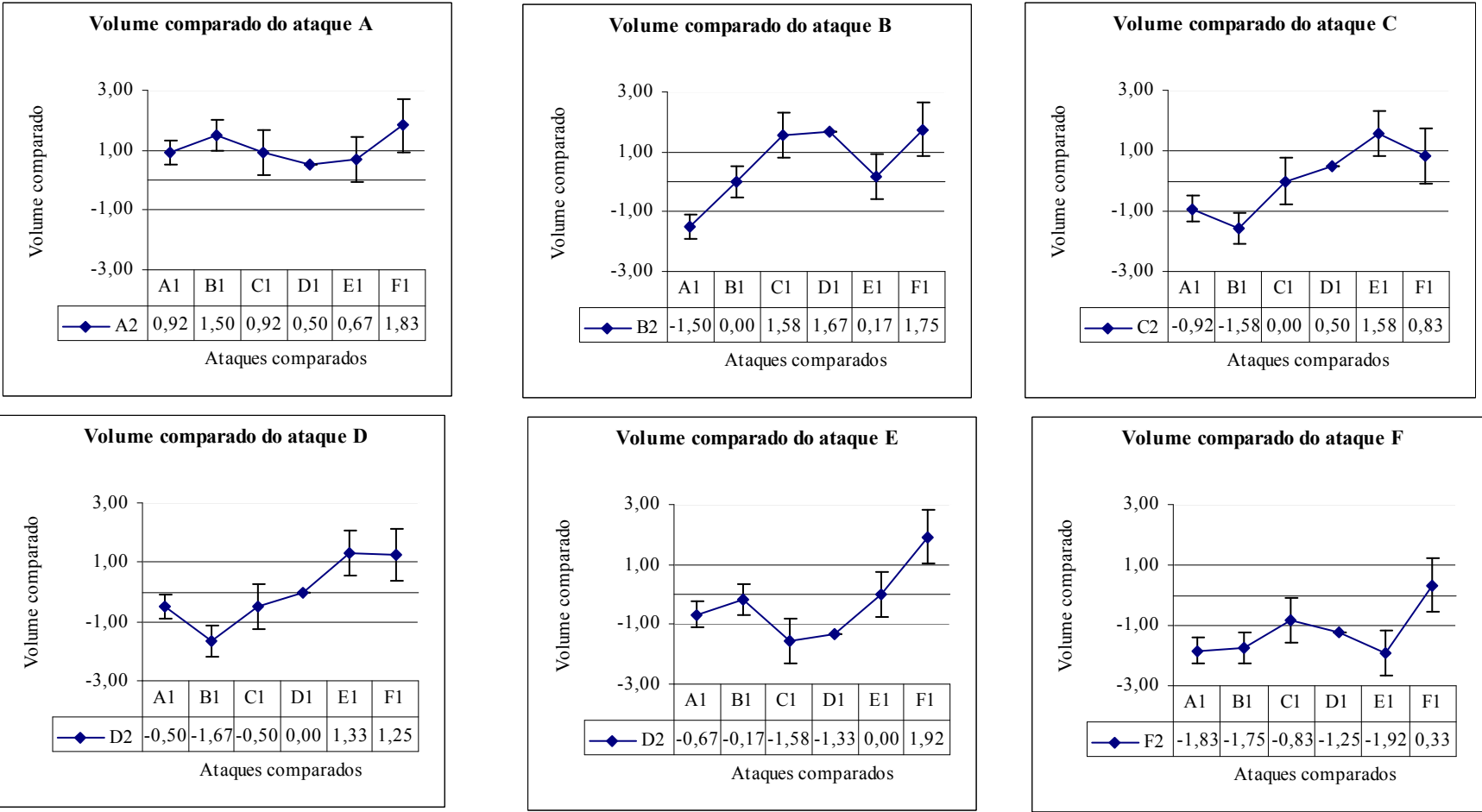


FIGURA 5.7 (A-F): Gráficos das médias dos resultados dos sujeitos e desvio padrão por resultados da nota Si – 3(27).

## Capítulo 6 - Análise e discussão dos resultados

### 6.1. Análise das amostras

Vários tipos de análise foram realizados nas amostras de som antes e após a equalização, com o objetivo de relacionar os resultados dos testes subjetivos com as características físicas de cada tipo de timbre utilizado na pesquisa. Análises de tempos de decaimento, contorno da envoltória, análises espectrais e descrições da forma de onda no domínio do tempo foram realizados nas amostras normalizadas. As principais medições, separadas por tipo de amostras estão dispostas no ANEXO C ao final do texto.

#### 6.1.1. Tempos de decaimento

A bibliografia consultada não proporcionou uma metodologia específica para a mediação ou descrição do comportamento do decaimento de sons impulsivos, ou sons do violão. Desta forma optou-se por utilizar o tipo de caracterização do decaimento definida a partir do software MEDS (KENDALL, 2001), do contorno da envoltória RMS de cada sinal e do tempo de decaimento. O *tempo de decaimento* foi definido como o tempo necessário para que a função RMS decaia a 50 % da extensão dos valores RMS (KENDALL, 2001). Estas medições são realizadas pelo cálculo a energia média RMS em janelas de tempo consecutivas e de tamanho definido pelo usuário. Exemplos de envoltórias estão na figura 6.1 e os tempos de decaimentos na tabela 6.1.

O tamanho da janela de medição destes valores foi diferenciada para as 3 primeiras cordas do violão (ou primas), que são as cordas mais agudas, e para as 3 últimas (bordões), uma vez que as oscilações de energia RMS dos bordões provocaram erros de análise se analisadas com o mesmo tamanho das janelas utilizado para as primas<sup>37</sup>. Portanto, para as primas foi utilizada uma janela de 128 amostras que corresponde a uma medição RMS a cada 2,9 ms e para os bordões foi utilizado uma janela de 512 amostras que corresponde a 11,6 ms para cada medição. Os gráficos de envoltórias RMS de todas as notas estão no ANEXO C ao final do texto.

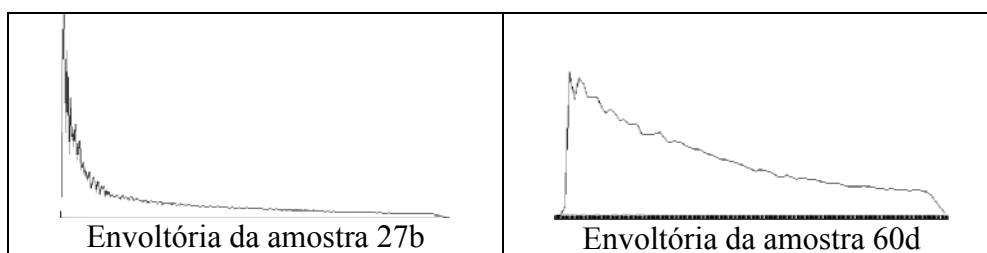


FIGURA 6.1: Exemplos de envoltórias analisadas.

Tempo de Decaimento (em milissegundos)							
		A	B	C	D	E	F
Primas	13	81,00	74,20	147,80	52,00	13,40	115,60
	112	21,30	24,40	29,90	17,10	59,10	27,30
	20	20,80	30,30	22,90	20,20	22,70	23,70
	27	25,20	13,60	52,00	25,60	19,20	37,50
	33	28,90	48,80	28,80	44,70	28,80	49,60
	312	78,10	14,00	141,50	66,60	13,60	170,00
	média	42,55	34,22	70,48	37,70	26,13	70,62
Bordões	40	79,70	86,50	966,20	138,90	44,40	159,70
	47	50,10	50,10	162,40	90,80	98,80	132,40
	53	367,20	45,10	968,40	171,10	67,90	321,50
	512	150,00	66,20	68,60	57,60	109,80	125,20
	60	578,80	99,50	625,10	324,70	54,90	194,90
	67	122,60	53,90	124,70	69,00	71,80	51,10
	média	224,73	66,88	485,90	142,02	74,60	164,13

TABELA 6.1: Tempos de decaimento, e médias por grupo de cordas nas notas utilizadas nos testes.

Legenda	
A	tn – Tirando Normal
B	tp – Tirando Sul-Ponticello
C	tt – Tirando Sul-Tasto
D	an – Apoiado Normal
E	ap – Apoiado Sul-Ponticello
F	at – Apoiado Sul-Tasto

<sup>37</sup> Isto ocorreu porque as oscilações de média de energia RMS no sinal dos bordões, aliadas ao decaimento lento fizeram com que a curva de energia (em janelas de tempo pequenas) oscilasse em torno do limite de cálculo do tempo de decaimento (50 % da extensão da média RMS), o que provocou aferições não consistentes, onde, por exemplo, um decaimento muito longo poderia ser aferido como curto quando a primeira oscilação do sinal cruzasse o limite de 50%.

Os resultados obtidos com as análises de taxa de decaimento nos bordões apresentaram basicamente dois fatores que reduziram a confiabilidade do processo de aferição dos tempos:

- A ocorrência de grandes oscilações (inclusive positivas) na média de energia RMS da amostra em determinados ataques (prejudicando a indicação exata de um ponto dentro de uma média de energia decrescente).
- A presença de decaimentos lentos de alguns tipos de ataques que sequer atingiram o parâmetro utilizado na de análise (50% da extensão dos valores RMS de toda a amostra) no período de 1 segundo (e.g 53c e 40c).

Entretanto, algumas conclusões podem ser tecidas com relação às tendências de variação dos tempos de decaimento em função dos tipos de ataque, que têm especial importância na caracterização dos timbres do violão. Gráficos com médias dos tempos de decaimento das primas (figura 6.2) e dos bordões (figura 6.3) foram elaborados para melhor comparação entre os resultados.

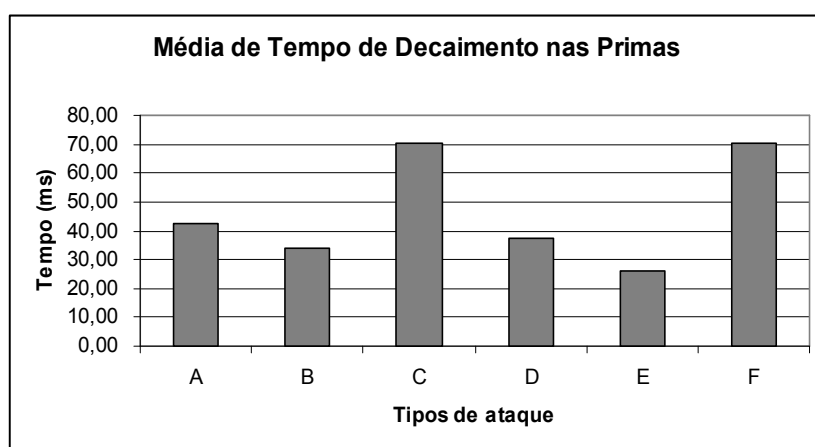


FIGURA 6.2: Médias de tempos de decaimentos nas Primas.

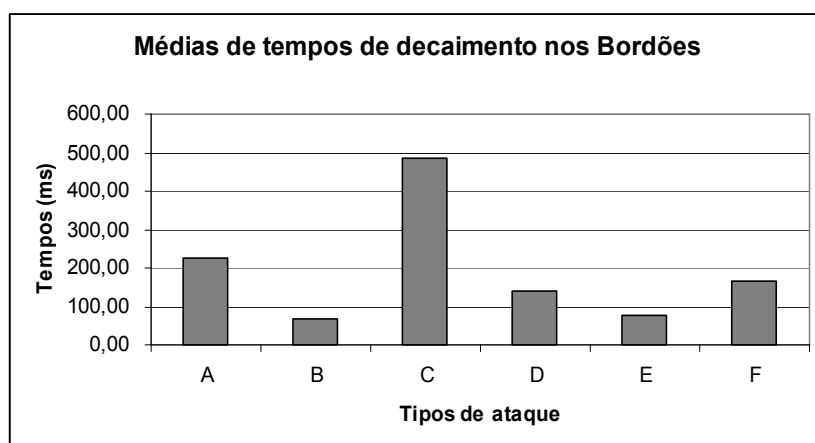


FIGURA 6.3: Médias de tempos de decaimentos nos Bordões.

Legenda	
A	tn – Tirando Normal
B	tp – Tirando Sul-Ponticello
C	tt – Tirando Sul-Tasto
D	an – Apoiado Normal
E	ap – Apoiado Sul-Ponticello
F	at – Apoiado Sul-Tasto

Observamos nos gráficos de médias de tempo de decaimento a existência de uma grande correlação entre as posições de ataque e a magnitude dos tempos de decaimento, enquanto o tipo de ataque parece não provocar grandes diferenças neste sentido. Os bordões têm claramente decaimentos mais longos que as primas, provavelmente ocasionados pela massa da corda, tipo de material e configurações do plectro (os bordões são tocados com o dedo polegar, que tem mais massa e potência muscular).

Desta forma podemos caracterizar o timbre das posições de ataque A e D (normal ou ordinário) como possuidores de tempos decaimento comparativamente medianos, sensivelmente maiores no ataque Tirando e menores no Apoiado tanto nas primas quanto nos bordões.

A posição de ataque comum nos ataques B e E - Sul-Ponticello - parece provocar tempos de decaimento menores (bem menores nos bordões), sensivelmente maiores no ataque Tirando e menores no Apoiado nas cordas primas, e de forma contrária nos bordões. Tal característica se deve provavelmente a tendências destas posições de ataque proporcionarem maior deslocamento da corda e conseqüentemente potência, consumindo em bem menos tempo a energia liberada pela corda. Outra possível explicação seria o fato de que a presença momentânea de transientes no início dos

ataques e, devido a isto, a presença de uma região com parciais distribuídas por todo o espectro, faz com que a rápida transição entre o nível de energia dos primeiros instantes e do prolongamento seguinte das vibrações da corda ocasione uma rápida taxa de decaimento. Tal distribuição no espectro é favorecida pelas características de excitação dos modos da corda na posição Sul-ponticello.

As posições de ataque dos ataques C e F (Sul-Tasto) apresentam tempos de decaimentos muito longos se comparados às outras posições. Isto ocorre porque a seleção de excitação dos modos nesta posição privilegia os modos da corda, que permanecem após o período de transientes. Desta forma, um som com menos transientes, tende a manter o tipo de decaimento natural da corda sem acréscimos momentâneos no início do ataque.

### 6.1.2. Análises espectrais

Foram realizadas análises espectrais em todas as amostras utilizadas no teste. Para a realização da FFT foi utilizada uma janela de 2048 amostras (duração da janela igual a 0,488 ms) com uma sobreposição ("overlap") de 90% o que gera uma resolução de tempo de 4,64 milissegundos. Para melhor visualização do conteúdo dos transientes (que são em sua maioria parciais médias agudas), foi utilizada uma escala linear para o eixo da frequência (vertical) se estendendo até 20000 Hz. O eixo horizontal dispõe o tempo (1 segundo) e a amplitude é disposta arbitrariamente nas tonalidades de cinza abrangendo uma gama de 80 dB, e pico máximo de -25 dB. A figura 6.2 exemplifica uma destas análises.

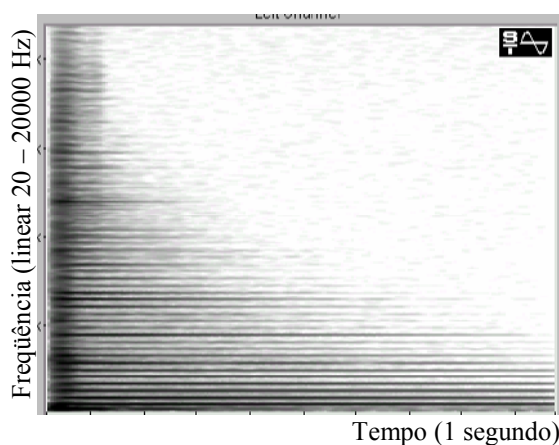


FIGURA 6.6: Análise espectral de um ataque da nota 13 Tirando Sul-Ponticello com as respectivas escalas. Para o restante dos espectrogramas as escalas serão as mesmas, entretanto serão omitidas devido às dimensões das figuras.

As linhas simétricas e continuantes na parte inferior do espectrograma, que estão presentes em todas as notas, indicam a permanência das principais parciais das cordas do violão, que estão em sua maioria abaixo de 5000 Hz. Na parte mediana e superior do espectrograma encontramos a região de frequências médias e altas onde os transientes são mais recorrentes. A extensão da região de transientes é normalmente acompanhada pelo prolongamento de uma faixa abrangendo todo espectro no início do ataque. Dois exemplos diferentes de análises espectrais estão demonstrados nas figuras 6.3, 6.4 e 6.5.

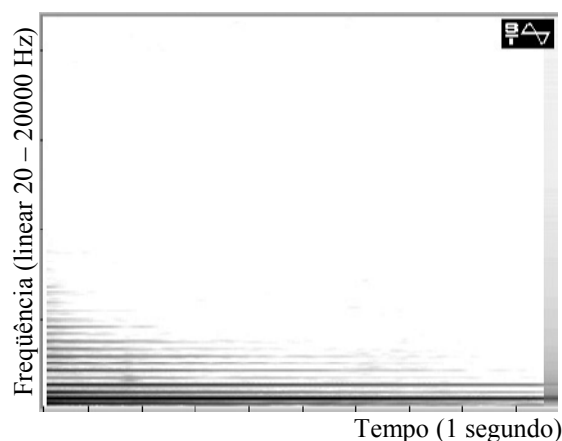


FIGURA 6.7: Espectrograma da nota 312f. Observamos na figura a ausência de parciais médias e agudas que caracterizariam o tipo de transiente mais comum, provocada pela característica de seleção de modos do ataque Apoiado Sul-Tasto.

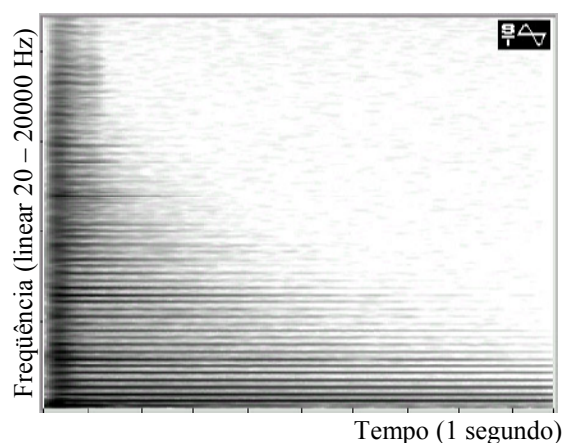


FIGURA 6.8: Espectrograma da nota 13b. Observamos na figura a forte presença de parciais no início do ataque e a diminuição graduada de parciais agudas no percurso do som.

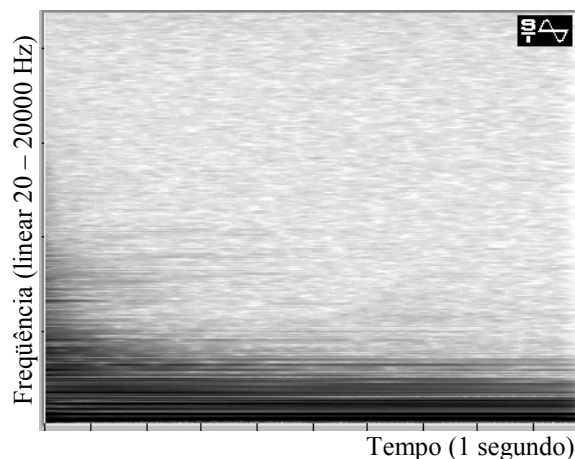


FIGURA 6.9: Espectrograma da nota 40c. Observamos a ausência de parciais agudas e a presença de ruído em todo o sinal. Como todas as amostras foram gravadas sob as mesmas condições e analisadas com os mesmo parâmetros, a visualização deste ruído no espectrograma se deve à amplificação provocada pelo processo de equalização.

### Amplitude no domínio do tempo

Outra forma de representação do som é a que apresenta as amplitudes pelo domínio do tempo (demonstrada na figura 6.6), e tem vantagens diferentes em relação ao espectrograma. Normalmente este tipo de visualização do som tende a ser mais análoga aos movimentos físicos dos materiais que radiam o som.

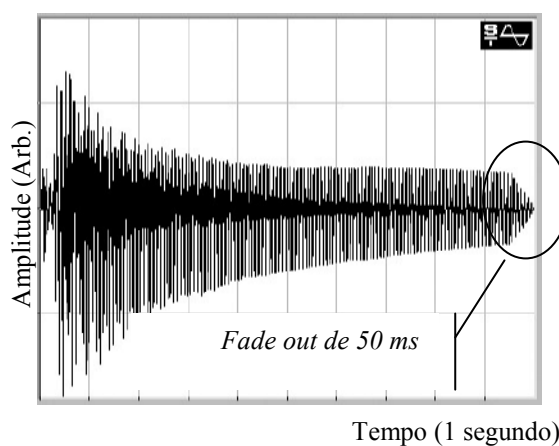


FIGURA 6.10: Forma de onda de uma nota 40f disposta em um gráfico de amplitude sobre tempo. É possível observar o *fade out* inserido no final da amostra, como descrito na seção 6.1.

As análises espectrais, envoltória RMS, amplitude no domínio do tempo e tempos de ataque, decaimento e médias de energia RMS estão anexadas ao final do texto com a seguinte disposição, ilustrada pela figura 6.7:

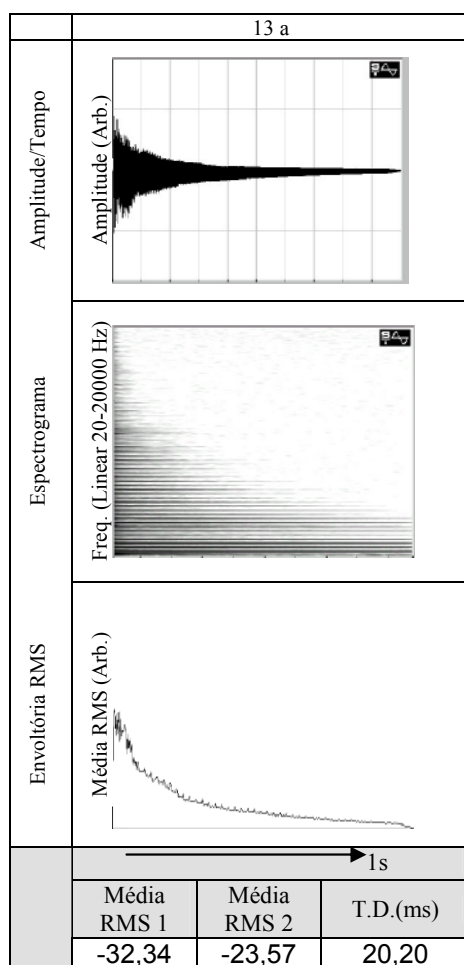


FIGURA 6.11: Quadro demonstrativo das análises realizadas no experimento. As amplitudes da envoltória e do gráfico Amplitude/tempo são arbitrárias pois não apresentam valores absolutos e não há necessidade de valores relativos precisos na magnitude destas figuras. A média RMS 1 indica a média de energia RMS antes da normalização, a média RMS 2 indica a média de energia RMS após a normalização, T.D. indica o tempo de decaimento em milissegundos.

## 6.2. Discussão dos resultados dos testes

A discussão sobre os resultados da pesquisa, e mais especificamente do teste final de volume percebido, parte do pressuposto que a minimização da influência da energia média das amostras foi atingida no processo de equalização descrito na seção 5.4. Tal pressuposto implica na interpretação dos resultados como decorrentes de influências da dinâmica do conteúdo espectral das amostras. A considerável dispersão dos resultados do teste, evidenciada pelos níveis de desvio padrão nas avaliações, pode significar que houve falha no modelo experimental utilizado, ou que, após o processo de equalização

das amostras, as diferenças de volume em decorrência do conteúdo espectral das amostras foram mínimas, gerando dificuldades para a avaliação subjetiva.

### **6.2.1. Caracterização do timbre das amostras**

A partir dos espectrogramas, tempos de decaimento e ataque caracterizaremos os recursos técnicos violonísticos utilizados na pesquisa. Este tipo de descrição visa construir a base de verificações necessárias à discussão dos resultados dos testes.

#### **Tirando**

Os tipos de ataque tirando são caracterizados por picos de amplitude e potência geralmente mais baixos que o ataque apoiado. Além disso o espectro não apresenta um período de com presença de transientes tão extenso quanto no ataque apoiado. Apresenta decaimentos mais longos que os ataques apoiados, o que se deve principalmente à menor resistência ao deslocamento da corda, uma vez que no ataque tirando a corda é deslocada com uma menor amplitude inicial, em comparação com o ataque apoiado.

#### **A – Tirando Normal (Ordinário)**

Esta combinação de ataque é, dentre os recursos aqui estudados, o mais amplamente utilizado pelos violonistas. As características principais deste timbre aqui analisadas (decaimento, potência e distribuição espectral) estão normalmente situadas em uma região mediana em comparação com as outras regiões de ataque (Sul-Tasto e Sul-Ponticello), ou seja, têm decaimentos medianos e em situações onde há a necessidade de maior volume apresenta uma destacada região com presença de transientes.

#### **B – Tirando Sul-Ponticello**

Este ataque combina a maior presença de transientes no início do som entre os ataques tirando, com um decaimento mais lento se comparado ao ataque D - Apoiado Sul-Ponticello. A posição de ataque na corda privilegia modos de frequências altas, e possibilita a utilização de mais força aplicada pelo dedo sem o “estouro” da nota, já que neste ponto, mesmo que a força necessária para se manter a mesma energia seja maior, a corda apresenta um menor deslocamento para os mesmo níveis de energia.

### **C – Tirando Sul-Tasto**

É normalmente caracterizado por decaimentos muito longos, baixa amplitude e potência. O conteúdo espectral apresenta comparativamente pouca presença de transientes em parciais altas com uma forte concentração de energia na frequência fundamental.

### **Apoiado**

O Ataque apoiado é caracterizado por um grande deslocamento inicial da corda e níveis de energia média mais acentuados que o tirando (como demonstrado pela figura 3.27). Tem um decaimento rápido ocasionado pelo rápido retorno a uma posição de maior equilíbrio provocado pelo grande deslocamento inicial. A dinâmica de seu espectro pelo tempo, apresenta uma área com a presença de transientes pronunciada e normalmente um pico de ruído após o ataque e liberação da corda, ocasionado pelo efeito percussivo gerado pela colisão do dedo com corda subsequente em que ele se apóia. Têm normalmente média de energia RMS (sem normalização) bem maior que as médias dos ataques tirando.

### **D – Apoiado Normal (ordinário)**

O ataque normal apresenta uma combinação mediana entre média RMS, transientes e decaimento se comparado aos outros ataques apoiados. É também o ataque apoiado mais utilizado na literatura violonística, pois não apresenta a rigidez da corda no ataque Sul-Ponticello e nem o excesso de amplitude da corda e limites entre corda e espelho do ataque Sul-Tasto.

### **E – Apoiado Sul-Ponticello**

O ataque apoiado Sul-Ponticello apresenta um período de transientes que reúne, além do timbre normalmente áspero, pontual e metálico (característico desta região), a presença de ruídos ocasionados pela percussão do dedo na corda subsequente no momento do apoio e agravada pela rigidez da corda nesta região. Estes ruídos percussivos do apoio do dedo são particularmente audíveis neste ataque pelo contraste entre as frequências altas excitados pela posição de ataque na corda e a resposta dos modos graves do corpo à percussão do dedo na corda mais rígida.

### **F – Apoiado Sul-Tasto**

As diferenças entre os ataques Sul-tasto F e C são pouco observáveis, sobretudo após a normalização. O ataque F tem uma amplitude e potência (antes da normalização) claramente mais proeminente que o ataque C, e as diferenças entre os timbre são minimizadas, pois o espaço entre corda e espelho e entre cordas impossibilita a realização de um apoio mais “profundo”, e portanto, modificações mais contundentes na dinâmica espectral das amostras.

### **6.2.2. Significado dos resultados**

Para os resultados obtidos no teste de volume percebido foi aplicado o teste-t de hipóteses para  $p=0,1$  e  $p=0,05$ , e para três hipóteses alternativas diferentes (média diferente, maior ou menor que o conjunto de resultados), totalizando 6 testes diferentes. No procedimento destes testes foi realizada uma comparação entre significância dos resultados dos sujeitos nas comparações entre em determinado ataque e ataques diferentes (e.g. AB, BB, CB, DB, EB e FB) com o resultado da média de igualdade esperado no cruzamento do par de ataques iguais (e.g. BB). Na prática este teste indica quais resultados podem ser significativamente maiores, menores ou diferentes que a média das comparações idênticas, a qual é teoricamente esperado que tenha o resultado 0, que indicaria igualdade.

Os resultados destas análises estão descritos nas tabelas de médias de cada nota no ANEXO B. Os valores em negrito indicam resultados significativos para  $p=0,1$ , valores em células sombreadas indicam resultados significativos para  $p=0,05$ . Como as diferenças entre os dois níveis de significância foram pequenas, optou-se por se basear a discussão a seguir nos resultados de  $p=0,1$ .

Três processos de descrição dos resultados das médias significativas foram realizados para resumir o conjunto de resultados em uma disposição que facilitasse sua observação.

No primeiro processo (figura 6.12) foi realizada uma pontuação de médias significativas acima e abaixo da média do par de referência (idêntico). Para cada ataque observado, foi pontuado +1 ponto para as médias acima da referência (ou seja, quando o ataque foi significativamente considerado como mais forte), e -1 para médias abaixo da referência

(quando o ataque foi significativamente considerado como mais fraco). O resultado desta contagem indica o número de médias significativas mais fortes ou fracas que a referência para cada nota. No segundo processo (figura 6.13) todos os valores das médias para cada ataque foram somados. Desta forma o peso de cada média significativa é considerado, e influencia o resultado final. No terceiro processo (gráfico 6.14) foi realizada uma média das médias significativas para cada ataque.

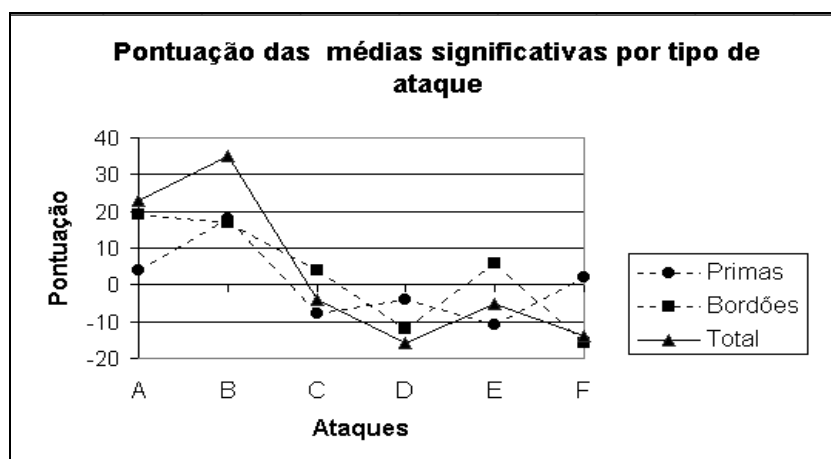


FIGURA 6.12: Gráfico da pontuação das médias significativas por tipo de ataque. Para cada média significativa acima da média de pares idênticos, foi creditado =1 ponto, abaixo -1 ponto.

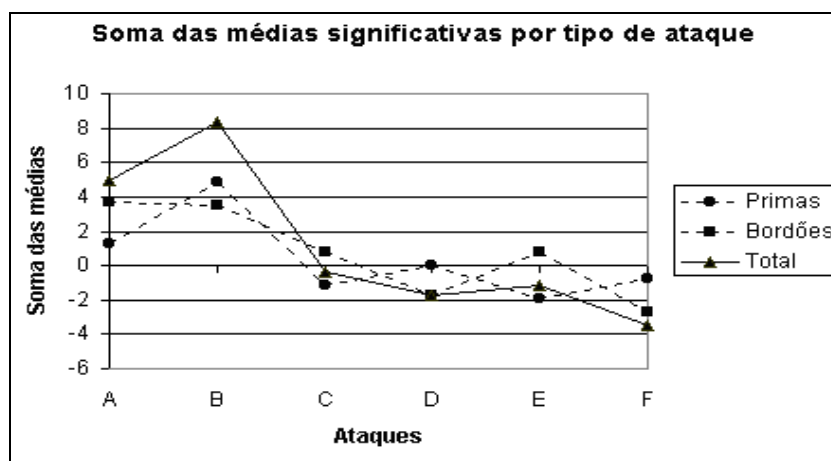


FIGURA 6.13: Soma dos valores das médias significativas por tipo de ataque.

Legenda	
A	tn – Tirando Normal
B	tp – Tirando Sul-Ponticello
C	tt – Tirando Sul-Tasto
D	an – Apoiado Normal
E	ap – Apoiado Sul-Ponticello
F	at – Apoiado Sul-Tasto

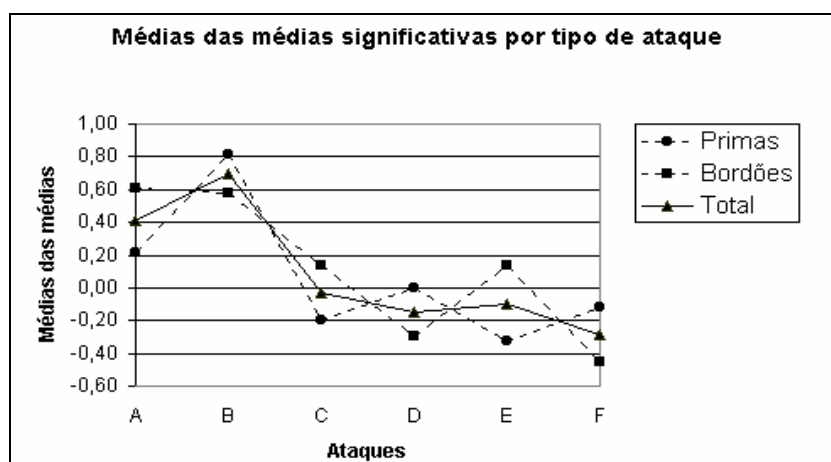


FIGURA 6.14: Médias das médias significativas por tipo de ataque.

A partir dos resultados obtidos podemos observar uma forte tendência do timbre B – Tirando Sul-Ponticello seguido pelo timbre A – tirando normal, serem percebidos com maior volume após a equalização. O ataque B pode ser caracterizado como possuidor de uma porção de transientes rica e um tempo de decaimento médio, se comparado a outros ataques. O ataque A mantém um tempo de decaimento maior e uma presença de transientes mediana. Se observarmos que outros tipos de ataques com porções de transientes semelhantes e decaimentos rápidos, ou decaimentos longos e pouca presença de transientes, não têm a mesma tendência de avaliação apresentada pelo ataque B e A, podemos supor que a melhor combinação dos dois elementos – decaimento longo e presença de transientes - tende a provocar as avaliações de maior volume.

A maior tendência de ataque percebido como “fraco” foi demonstrada pelo ataque F – Apoiando Sul-Ponticello, e a maioria dos resultados obtidos pelos ataques C, D e E também se mantiveram abaixo da linha 0 de igualdade, ou seja, na região de menor volume. Médias significativas dos bordões são sensivelmente maiores na região do ataque Apoiado Sul-Ponticello e ataque Tirando Normal.

Quando observamos nos bordões os tempos longos de decaimentos do ataque A e a equiparação dos tempos de decaimentos do ataque B e E, verificamos a forte influência do decaimento no resultado de avaliação do volume percebido: nos bordões o ataque A é percebido como mais forte e o ataque E se torna proeminente e a avaliação positiva.

Tais resultados parecem confirmar a importância da combinação de dois fatores principais: tempo de decaimento e presença de transientes, na influência da dinâmica do espectro sobre o volume percebido. Os ataques tirando têm um tempo de decaimento maior que os ataques apoiados, que obtiveram avaliações muito baixas e a confirmação do ataque B como ataque percebido como mais forte indica que além do tempo de decaimento a forte presença de transientes no início do ataque também influencia a avaliação. Entretanto, não há como inferir o exato peso da influência de cada uma destas características no volume percebido, com base nos dados desta pesquisa.

É curioso notar a inversão que ocorre após a normalização dos ataques tirando e apoiado: antes da normalização são claras as diferenças de volume percebido e de média RMS que indicam que os ataques apoiados são mais fortes. Após a normalização verificamos que os ataques tirando passam a ser considerados como mais fortes.

### **Dispersão e discriminabilidade entre resultados**

A partir do teste-t realizado com a hipótese alternativa em que a média é diferente que o conjunto de dados, foi realizada uma contagem do número de médias significativas (diferentes da média de referência) presentes nas avaliações de cada nota. Esta verificação objetiva observar a dispersão ou diferença dos resultados no conjunto de dados. Notas ou ataques com poucas médias significativas podem apresentar muita dispersão dos resultados (que prejudicam a significância de sua média) ou altos níveis de semelhança entre os ataques. Por outro lado, notas ou ataques com muitas médias significativas indicam alta significância dos resultados e/ou bastante discriminação entre o volume percebido das notas. Na figura 6.15 observamos o número de médias significativas por nota e na figura 6.16 o número de médias significativas por tipo ataque, nos bordões, nas primas e no total.

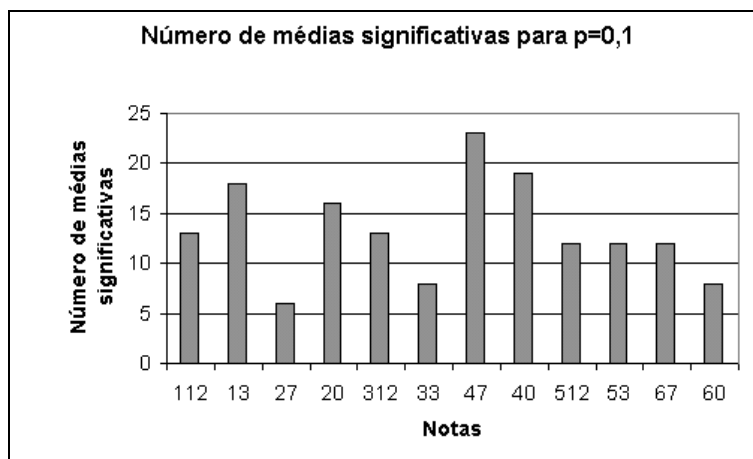


FIGURA 6.15: Número de médias significativas por nota.

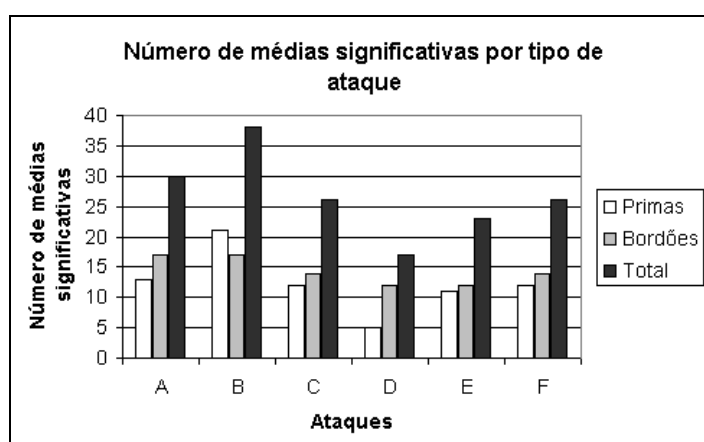


FIGURA 6.16: Número de médias significativas por ataque nas cordas primas, bordões e no total.

Legenda	
A	tn – Tirando Normal
B	tp – Tirando Sul-Ponticello
C	tt – Tirando Sul-Tasto
D	an – Apoiado Normal
E	ap – Apoiado Sul-Ponticello
F	at – Apoiado Sul-Tasto

Com base nestes resultados observamos que os bordões tendem a gerar timbres sensivelmente mais discriminados e/ou diferenças de volume mais significantes. É possível que as propriedades da corda e do próprio plectro (o polegar pode gerar grandes diferenças timbrísticas mantendo uma energia de excitação bem maior que os outros dedos) tenham influenciado esta característica.

Algumas notas parecem ter provocado confusões entre os sujeitos, entretanto uma verificação auditiva na base de sons, e principalmente das notas 27, 33 e 60, não encontrou inconsistências nas amostras ou no desenho do experimento. Durante os testes vários sujeitos se manifestaram quanto à dificuldade de avaliação do volume

percebido (comparado) de combinações de sons com ataques com muitos transientes com sons ataques com decaimentos muito longos. Isto parece indicar um “conflito” entre os níveis de influência do espectro e os níveis de influência da duração (considerando a taxa de decaimento como a duração de um sinal até um limite) no volume percebido.

## Capítulo 7 - Conclusão

### 7.1. O volume e o timbre do som do violão

Os resultados da pesquisa indicam que os parâmetros timbrísticos que geram as maiores influências sobre o volume de notas (isoladas) do som do violão são uma combinação do decaimento e da magnitude da presença de transientes. A necessidade de se estabelecer uma combinação se deve ao fato que grande parte dos resultados positivos aconteceram quando estes parâmetros estavam conjuntamente ressaltados nas amostras. Entretanto, tendências isoladas verificadas nos resultados mostram que o decaimento tende a ser mais relevante dentro desta combinação relativamente equilibrada. O tempo de decaimento é um parâmetro de difícil controle pelo violonista, mesmo porque se desenvolve após da interação dedo-corda. Notas tocadas nos bordões, ataques mais “diagonais” e o vibrato são alguns recursos normalmente relacionados com o aumento dos tempos de decaimento. Já a presença de transientes, que pode ser praticamente relacionada com a quantidade de ruído e sons com frequências mais altas no início do ataque, é um pouco mais controlável, entretanto é subordinado à proposta de som “ideal” de cada violonista, e não é totalmente aplicável a qualquer proposta musical. Outra importante questão é que estes dois parâmetros são geralmente opostos: as notas com muitos transientes apresentam decaimentos rápidos, notas com poucos transientes apresentam decaimentos longos. Desta forma, é esperado que o melhor resultado de volume sonoro entre os elementos espectrais seja um equilíbrio entre estes dois parâmetros.

As características que fazem o ataque Apoiado o tipo de ataque mais sonoro dentro da prática violonística parecem não se relacionar significativamente ao atributo do timbre uma vez que, estando as amostras deste ataque equalizadas e comparadas com outros timbres, obtiveram avaliações bem abaixo que as do ataque Tirando. O ataque Tirando apresenta um volume sonoro indiscutivelmente menor que o Apoiado antes da normalização. Isto ocorre porque uma menor tensão aplicada na corda tem como consequência tempos de decaimentos mais longos. Assim, após a normalização (que neste trabalho priorizou os primeiros instantes dos ataques – ver pg. 101) este decaimento longo implicaria em um volume percebido mais elevado. Este efeito a princípio não está relacionado ao timbre.

A posição de ataque Sul-Ponticello também citada como um recurso de aumento de volume (relacionado com seu timbre mais “cheio”), teve sua importância na avaliação de volume condicionada à presença de decaimentos relativamente longos. Este fato nos leva a cogitar que são na verdade as características da corda nesta posição (maior possibilidade de deslocamento da corda sem trastejamentos) que permitem um ataque mais potente pelo dedo. Mesmo que as características desta posição de ataque provoquem um “aumento” psicoacústico na sensação de volume em virtude do espectro mais distribuído pelo espectro, este fator aparenta não ser mais relevante que a magnitude do deslocamento da corda, ou seja, a energia dispensada pelo instrumentista.

Tais observações parecem se alinhar na contramão das transformações no timbre que as atuais tendências de construção do violão propõem: aumentar a potência sonora diminuindo o tempo de decaimento ou a sustentação da nota. Obviamente, os elementos perceptivos do timbre não estão sujeitos às exigências materiais e técnicas do trabalho de lutheria, mas podem apontar outras direções para a discussão sobre o futuro do timbre do violão e principalmente quais transformações no timbre atuariam sobre o volume. O que se observa, no entanto, é que as soluções para o volume do violão apresentadas até o momento se balizam em um movimento contrário: a aumento do volume transformando e influenciando consistentemente o timbre. RICHARDSOM (1994) nos adverte sobre as mudanças do timbre do violão:

*“Most of the lasting developments which have occurred in the guitar have come about in response to better string materials or the musical demands of players and composers. Change should not be driven by technology or economics. One of the greatest difficulties to be faced is in defining what changes would be desirable. There is not and never will be, any such thing as an ideal guitar sound.”* RICHARDSOM (1994, p. 9-10)

*“A maioria dos últimos desenvolvimentos que ocorreram no violão vieram como resultado de melhorias nos materiais das cordas ou demandas musicais dos instrumentistas e compositores. A mudança não deve ser induzida por tecnologia ou economia. Uma das grandes dificuldades a ser encarada é definir quais mudanças seriam desejáveis. Não há, nem nunca vai haver, qualquer coisa como o som ‘ideal’ do violão”.*

Historicamente, muitas das mais contundentes transformações do violão (se não a sua própria tradição musical) foram antes resultados de situações notadamente econômicas, sociais e materiais (como as grandes platéias, da portabilidade, a utilização do nylon e a amplificação) que necessidades estritamente musicais. Antes que as transformações técnicas ou materiais ditem novamente as mudanças timbrísticas, resta saber quais necessidades musicais precisarão ser atendidas pelo violão, e quais transformações estéticas serão aceitas neste timbre e mesmo na estrutura do violão.

Considerando o timbre como um atributo multidimensional, qualquer mudança em qualquer atributo do som do violão é uma transformação timbrística. Mudar a realidade do violão, dos problemas de volume ou do timbre, é inevitavelmente mudar o som do violão. É preciso refletir portanto, até que ponto os aparentes problemas de volume deste instrumento (ou mesmo questões problemáticas como a extensão e variabilidade timbrística) são parte intrínseca da própria identidade timbrística deste instrumento, ou mesmo se as necessidades das práticas musicais atuais exigem outro instrumento completamente novo.

Aparentemente, dois caminhos parecem estar se consolidando como alternativas sólidas para o volume do violão: a aplicação sistemática da amplificação de alta fidelidade, e a disseminação das novas técnicas de construção. Mesmo que estas soluções sejam atualmente pouco acessíveis econômica e tecnicamente para a maioria dos violonistas,

existem perspectivas de disseminação destes processos, que são também transformações timbrísticas e provavelmente influenciarão uma nova técnica, um novo repertório e prática violonística.

## **7.2. Trabalhos futuros**

### **Pesquisa em timbre**

As possibilidades de pesquisa sobre o timbre do violão relacionado com os elementos da performance são muito amplas, entretanto carecem de aprofundamento no estudo do timbre e na aplicação e validação constante de novas possibilidades na prática musical. A abordagem neste trabalho demonstrou a existência de alguns espaços ainda não preenchidos pela pesquisa em timbre como comportamento dos sons impulsivos, volume de sons complexos não-estacionários e metodologias para a pesquisa experimental em timbre e performance. As metodologias aqui aplicadas para a equalização do volume percebido ainda necessitam de aperfeiçoamentos e validações.

### **Performance e violão**

No campo da performance musical as novas possibilidades de amplificação, ou reforço acústico através de outros elementos que não a própria estrutura do violão, ainda precisam de descrições e verificações, sobretudo em relação à sua eficiência e fidelidade. As interações entre repertório, técnica violonística, tecnologia e pesquisa em timbre são ainda pouco abordados.

## Referências Bibliográficas

---

CARLEVARO, Abel. *Escuela de la guitarra: exposición de la teoria instrumental*. Buenos Aires: Ed. Barry, 1979.

CARRUTH, Alan. Paradoxes in guitar acoustics. *American Lutherie*. N. 45, [s.d.]

CARRUTH, Alan. Re: Loudness and guitar. In *Cguitar-List* (Classical Guitar List) [online] James David Walley (editor) [jul. 2002] Disponível na Internet: [cguitar-list@eskimo.com](mailto:cguitar-list@eskimo.com)

*Cguitar-List* (Classical Guitar List) [online] James David Walley (editor) [jul. 2002] Disponível na Internet: [cguitar-list@eskimo.com](mailto:cguitar-list@eskimo.com)

CUPIANO, William. The luthier's dilemma: Sources of acoustic innovation. *Journal of guitar acoustics*. Michigan, n° 1, p.12-18, dez. de 1980.

DUDEQUE, Norton. *História do violão*. Curitiba: Ed. UFPR, 1994. 113p.

DYER, Sam. Re: Loudness and guitar. In *Cguitar-List* (Classical Guitar List) [online] James David Walley (editor) [jul. 2002] Disponível na Internet: [cguitar-list@eskimo.com](mailto:cguitar-list@eskimo.com)

ERLEWINE, Dan; SINGER, Jonathan. The revolutionary designs of classical guitar maker Thomas Humphrey. *Acoustic Guitar*, fev. 1996, p. 50.

EVANS, T; EVANS, M. *Guitars: Music, History, Construction and players from the renaissance to rock*. New York: Oxford Univ. Press, 1977.

FERNANDEZ, Eduardo. *Técnica, mecanismo, aprendizaje. Una investigación sobre llegar a ser guitarrista*. Montevideo: Ed. Art, 2000.

FIRTH, Ian. Guitars: Steady state and transient response. *Journal of guitar acoustics*. Michigan, n° 6, p. 42-49, setembro de 1982.

FLEISHMAN, Harry. Amplifying acoustic instruments. *American Lutherie* n. 47, [s.d.]

GERKEN, Teja. To infinity and beyond: New directions in classical guitar design and construction. *Acoustic Guitar Magazine*.n. 103, Jul. 2001.

GLISE, Anthony. *Classical guitar pedagogy*. St Joseph: Mel Bay, 1997.

- GREY, J. M. *An exploration of musical timbre*. Dissertação de Doutorado não publicada. Stanford: Stanford Univerity, 1975.
- GRONDONA, S.; WALDNER, L. Guitar strings from the nineteenth century to the advent nylon in *La Chitarra di Luteria*. Sondrio: Ed. L'officina del libro, 2001 [online] Disponível na Internet < <http://www.aquilacorde.com/articles.htm>.>
- HADJA, J.; KENDALL, R.; CARTERETTE, E.; HARSHBERGER, M. Methodological issues in: timbre research in *Perception and Cognition of Music* . Hove: Psychology Press, 1997.
- HII, Philip. Projection on the guitar. *American String Teacher*, Volume 41-4, Outono, 1991. 71-73. [online] Disponível na Internet <http://www.delmar.edu/music/proj.html>
- HOEK, *Polyfonia y guitarra em la música antiga*. Buenos Aires: Ricordi, 1977.
- HOLANDA, Aurélio Buarque de. *Dicionário Aurélio Eletrônico – Século XXI*. Versão 3.0. Nova Fronteira, 1999.
- JANSSON, Erik v. Fundamentals of the guitar tone. *Journal of guitar acoustics*. *Journal of guitar acoustics*. Michigan, nº 6, p. 26-41, setembro de 1982.
- KASHA, Michael; KASHA, Nicolas. Applied mechanics and the modern string instrument – classical guitar. *Journal of guitar acoustics*. Michigan, nº 6, p. 104-121, setembro de 1982.
- KENDALL, R.A. *MEDS: Music experiment development system*. 2001a (Software não publicado) Disponível na Internet: <http://www.ethnomusic.ucla.edu/systematic/Faculty/Kendall/meds.htm>.
- LANDI, Vincenzo. *Black Box: An innovative amplifier for the classical guitar on the stage*. [online] Julho de 2002. Disponível na Internet < <http://seicorde.org/articles/theblack.htm>.
- LEVITIN, Daniel J. Experimental design in psychoacoustic research in *Music, Cognition and Computadorized Sound*. Cambridge: M.I.T. Press, 1999.
- MATLAB. Versão 6.0.0.88. MathWorks, 2000.
- PAVLIDOU, Maria. *A physical model of the string-finger interaction on the classical guitar*. College of Cardiff, University of Walles, 1997. 208 p. (Tese de Doutorado em Física).
- PLOMP, Reiner. *Aspects of tone sensation*. London: Academic Press, 1976.

- PRATT, R.L.; DOAK, P.E.. A subjective rating scale for timbre. *Journal of Sound and Vibration*, n. 45, 1976.
- PUJOL, Emilio. *El dilema del sonido en la guitarra*. Buenos Aires: Ricordi Americana, 1969.
- RICHARDSON, Bernard E *The art and science of classical guitar construction*. In: Proceedings of the International symposium on musical acoustics. Dourdan, França, 1995.
- \_\_\_\_\_. The acoustical development of the guitar. *Journal of the Catgut Acoustical Society*. Vol. 2, nº 5 (series III), Maio de 1994.
- \_\_\_\_\_. *The classical guitar: Tone by design*. In: International Symposium On Musical Acoustics. Leavewortm, 1998.
- \_\_\_\_\_. *Vibrations of stringed musical instruments*. University of Walles Review. n. 4, 1998.
- \_\_\_\_\_. *Stringed instruments: plucked*. Encyclopedia of Acoustics. John Wiley & Sons, 1997.
- ROEDERER, Juan G. *Introdução à física e psicofísica da música*. São Paulo: Edusp, 1998.
- ROSSING, Thomas D. *The science of sound*. 2ª Ed. New York: Addison-Wesley, 1990.
- ROSSING, Thomas. Physics of guitars: an introduction. *Journal of Guitar Acoustics*, Michigan: Timothy P. White, v.4, p.45-67, set. 1981.
- SOMOGYI, Ervin. Principles of guitar dynamics and design. *American Lutherie*. n. 36, 1999.
- SOR, Ferdinand. *Method for the Spanish Guitar*. New York: Da Capo, 1980.
- TAYLOR, John. *Tone Production on the Classical Guitar*. London: Musical New Services, 1990. 80p.
- TOLONEN, Tero. *Model Based Analysis and resynthesis of acoustic guitar tones*. Helsinque: Dep. of Eletrical and Communications Engeneering of Helsinki University of Technology, 1998. p. 93.
- WINCKEL, Fritz. *Music sound and sensation; A modern exposition*. New York: Dover Publications, 1967.
- WRIGHT, Howard. *The acoustics and psychoacoustics of the guitar*. College of Cardiff, University of Walles, 1996. 252 p. (Tese de Mestrado em Física).

## ANEXO A

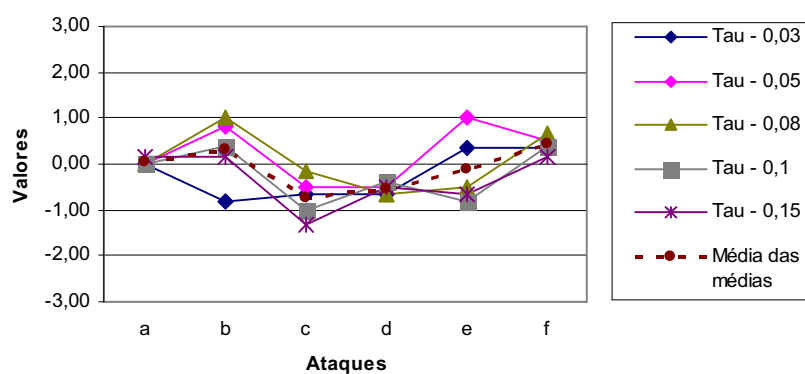
Tabelas e gráficos das notas com os resultados dos sujeitos para cada  $\tau$  (Tau).

Nota 112

Tabela de resultados por Tau

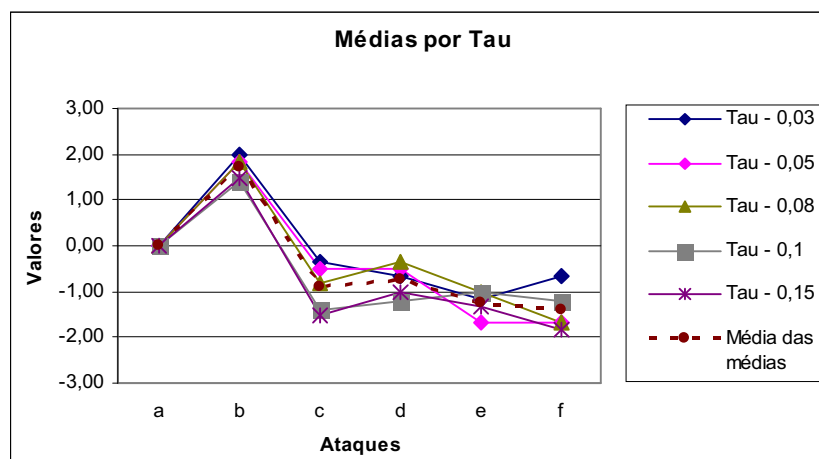
tau	Sujeitos	A	B	C	D	E	F
0,03	s1	0	-2	0	-1	0	0
	s2	0	-2	2	2	-2	0
	s3	0	-1	-2	-1	1	1
	s4	0	-1	-1	-2	1	1
	s5	0	1	-1	0	2	0
	s6	0	0	-2	-2	0	0
	Média	0,00	-0,83	-0,67	-0,67	0,33	0,33
	Desvio P.	0,00	1,17	1,51	1,51	1,37	0,52
0,05	s1	0	1	-1	-1	2	0
	s2	0	0	2	2	-2	2
	s3	0	0	-1	-1	2	0
	s4	0	1	-2	-1	1	0
	s5	0	1	1	0	1	-1
	s6	0	2	-2	-2	2	2
	Média	0,00	0,83	-0,50	-0,50	1,00	0,50
	Desvio P.	0,00	0,75	1,64	1,38	1,55	1,22
0,08	s1	0	1	1	0	-2	0
	s2	0	2	2	-1	2	1
	s3	0	-1	1	0	1	0
	s4	0	2	-2	-1	-2	1
	s5	0	0	-1	0	-2	0
	s6	0	2	-2	-2	0	2
	Média	0,00	1,00	-0,17	-0,67	-0,50	0,67
	Desvio P.	0,00	1,26	1,72	0,82	1,76	0,82
0,1	s1	0	2	0	-1	-2	0
	s2	0	-2	1	1	1	1
	s3	0	1	-1	-1	-1	0
	s4	0	1	-2	-2	-1	0
	s5	0	1	-1	-1	-1	0
	s6	0	1	-2	1	-2	1
	Média	0,00	0,40	-1,00	-0,40	-0,80	0,40
	Desvio P.	0,00	1,34	1,22	1,34	1,10	0,55
0,15	s1	0	1	0	1	-1	0
	s2	0	-2	-1	1	2	1
	s3	0	0	-2	-1	-1	0
	s4	0	1	-1	-1	-1	1
	s5	0	1	-2	-2	-1	-1
	s6	1	0	-2	-1	-2	0
	Média	0,17	0,17	-1,33	-0,50	-0,67	0,17
	Desvio P.	0,41	1,17	0,82	1,22	1,37	0,75

Médias por Tau

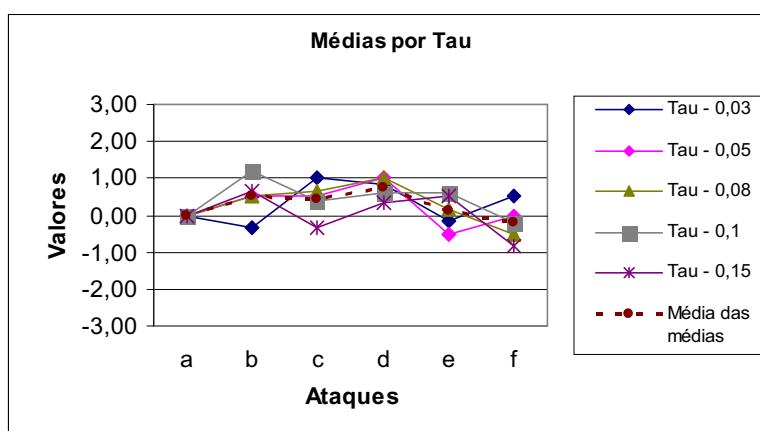


Nota 13

Tabela de resultados por Tau							
tau	Sujeitos	A	B	C	D	E	F
0,03	s1	0	2	1	0	-2	-1
	s2	0	2	-1	0	-2	-1
	s3	0	2	0	0	0	-1
	s4	0	2	-1	-2	-2	2
	s5	0	2	1	0	1	-1
	s6	0	2	-2	-2	-2	-2
	Média	0,00	2,00	-0,33	-0,67	-1,17	-0,67
	Desvio P.	0,00	0,00	1,21	1,03	1,33	1,37
0,05	s1	0	2	-1	-1	-2	-1
	s2	0	2	0	-1	-2	-2
	s3	0	1	2	-1	-2	-1
	s4	0	2	-1	0	-1	-2
	s5	0	2	-1	0	-1	-2
	s6	0	2	-2	0	-2	-2
	Média	0,00	1,83	-0,50	-0,50	-1,67	-1,67
	Desvio P.	0,00	0,41	1,38	0,55	0,52	0,52
0,08	s1	0	2	-1	-1	-2	-2
	s2	0	2	-1	0	-2	-1
	s3	0	2	1	0	-1	-1
	s4	0	2	-2	-2	2	-2
	s5	0	1	-1	0	-1	-2
	s6	0	2	-1	1	-2	-2
	Média	0,00	1,83	-0,83	-0,33	-1,00	-1,67
	Desvio P.	0,00	0,41	0,98	1,03	1,55	0,52
0,1	s1	-1	2	-1	0	-1	-2
	s2	0	2	-1	-1	-1	-1
	s3	0	1	-1	0	-2	1
	s4	0	2	-2	-2	2	-2
	s5	0	0	-1	-1	-2	-2
	s6	0	2	-2	-2	-2	-2
	Média	0,00	1,40	-1,40	-1,20	-1,00	-1,20
	Desvio P.	0,00	0,89	0,55	0,84	1,73	1,30
0,15	s1	0	2	-1	-1	-1	-2
	s2	0	2	-2	-1	-2	-2
	s3	0	1	-1	0	-1	-1
	s4	0	2	-2	-2	-1	-2
	s5	0	0	-1	-2	-1	-2
	s6	0	2	-2	0	-2	-2
	Média	0,00	1,50	-1,50	-1,00	-1,33	-1,83
	Desvio P.	0,00	0,84	0,55	0,89	0,52	0,41



Nota 27							
Tabela de resultados por Tau							
tau	Sujeitos	A	B	C	D	E	F
0,03	s1	0	0	1	0	-1	1
	s2	0	-1	1	1	-1	-1
	s3	0	-1	0	0	-1	-1
	s4	0	1	1	2	0	1
	s5	0	1	1	0	0	1
	s6	0	-2	2	2	2	2
	Média	0,00	-0,33	1,00	0,83	-0,17	0,50
0,05	s1	0	-1	1	0	-1	-1
	s2	0	1	1	1	-1	1
	s3	0	-1	-1	1	0	-1
	s4	0	2	-1	1	2	-2
	s5	0	0	1	1	-1	1
	s6	0	2	2	2	-2	2
	Média	0,00	0,50	0,50	1,00	-0,50	0,00
0,08	s1	0	-1	2	1	-1	-2
	s2	0	1	1	0	1	-1
	s3	0	1	-1	0	2	-1
	s4	0	1	-2	2	2	-2
	s5	0	-1	2	1	-1	1
	s6	0	2	2	2	-2	2
	Média	0,00	0,50	0,67	1,00	0,17	-0,50
0,1	s1	0	1	-1	1	0	-1
	s2	0	1	1	1	1	-1
	s3	0	1	0	0	-1	-1
	s4	0	2	-2	0	2	-2
	s5	0	0	1	1	-1	1
	s6	0	2	2	1	2	2
	Média	0,00	1,20	0,40	0,60	0,60	-0,20
0,15	s1	0	-1	-1	0	-1	-1
	s2	0	1	-1	2	2	-1
	s3	0	-1	-1	-1	-1	0
	s4	0	2	-2	1	2	-2
	s5	0	1	1	0	0	1
	s6	0	2	2	0	1	-2
	Média	0,00	0,67	-0,33	0,33	0,50	-0,83
	Desvio P.	0,00	1,37	1,51	1,03	1,38	1,17





Nota 312

Tabela de resultados por Tau							
tau	Sujeitos	A	B	C	D	E	F
0,03	s1	0	-1	0	0	0	0
	s2	0	-1	0	0	2	0
	s3	0	-1	0	0	0	-1
	s4	0	-2	-2	0	2	-2
	s5	0	-1	1	0	-1	1
	s6	0	-2	0	-2	-1	1
	Média	0,00	-1,33	-0,17	-0,33	0,33	-0,17
	Desvio P.	0,00	0,52	0,98	0,82	1,37	1,17
0,05	s1	0	1	0	0	1	-1
	s2	0	1	0	0	1	0
	s3	0	-2	-1	0	-1	-1
	s4	0	1	-1	0	2	-2
	s5	0	-2	1	0	1	2
	s6	0	-2	0	0	-1	1
	Média	0,00	-0,50	-0,17	0,00	0,50	-0,17
	Desvio P.	0,00	1,64	0,75	0,00	1,22	1,47
0,08	s1	0	1	0	0	0	-1
	s2	0	1	0	0	1	-1
	s3	0	-1	-1	0	0	-1
	s4	0	1	0	0	2	-2
	s5	0	1	1	0	1	1
	s6	0	1	0	1	2	2
	Média	0,00	0,67	0,00	0,17	1,00	-0,33
	Desvio P.	0,00	0,82	0,63	0,41	0,89	1,51
0,1	s1	0	2	0	0	2	-2
	s2	0	2	1	0	2	-1
	s3	0	0	0	0	1	-1
	s4	0	2	-2	0	2	-2
	s5	0	2	1	0	2	2
	s6	0	2	1	-1	2	2
	Média	0,00	1,60	0,20	-0,20	1,80	0,00
	Desvio P.	0,00	0,89	1,30	0,45	0,45	1,87
0,15	s1	0	1	0	0	1	-2
	s2	0	2	0	0	2	-1
	s3	0	1	0	0	1	-1
	s4	0	2	-1	0	2	-2
	s5	0	2	0	0	1	1
	s6	0	-2	-2	0	2	2
	Média	0,00	1,00	-0,50	0,00	1,50	-0,50
	Desvio P.	0,00	1,55	0,84	0,00	0,55	1,64

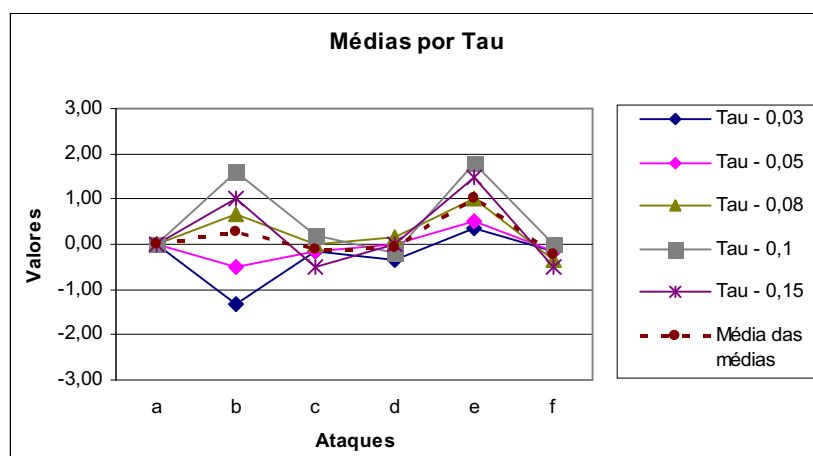
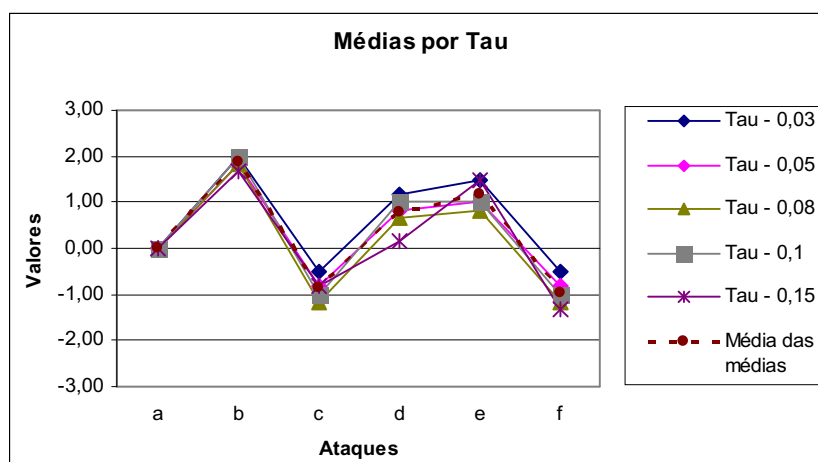


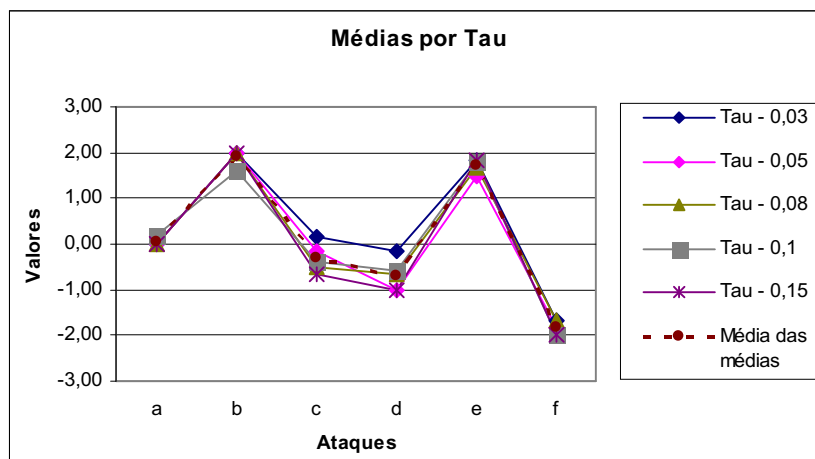
Tabela de resultados por Tau

Tabela de resultados por Tau							
tau	Sujeitos	A	B	C	D	E	F
0,03	s1	0	2	-2	0	2	0
	s2	0	2	-1	2	2	-1
	s3	0	2	0	1	1	0
	s4	0	2	-1	2	2	-2
	s5	0	2	-1	0	1	0
	s6	0	2	2	2	1	0
	Média	0,00	2,00	-0,50	1,17	1,50	-0,50
Desvio P.	0,00	0,00	1,38	0,98	0,55	0,84	
0,05	s1	0	1	0	0	0	-1
	s2	0	2	-1	2	2	-1
	s3	0	2	-1	0	1	-1
	s4	0	2	-2	0	1	-2
	s5	0	2	-1	1	0	0
	s6	0	2	0	2	2	0
	Média	0,00	1,83	-0,83	0,83	1,00	-0,83
Desvio P.	0,00	0,41	0,75	0,98	0,89	0,75	
0,08	s1	0	2	-1	0	0	-1
	s2	0	2	-1	1	2	-1
	s3	0	2	-1	1	1	-1
	s4	0	2	-2	2	2	-1
	s5	0	1	0	0	1	-1
	s6	0	2	-2	0	-1	-2
	Média	0,00	1,83	-1,17	0,67	0,83	-1,17
Desvio P.	0,00	0,41	0,75	0,82	1,17	0,41	
0,1	s1	0	2	-2	0	1	-1
	s2	0	2	-1	1	2	0
	s3	0	2	-1	1	1	-1
	s4	0	2	-2	2	1	-2
	s5	0	2	-1	0	1	0
	s6	0	2	0	1	0	-2
	Média	0,00	2,00	-1,00	1,00	1,00	-1,00
Desvio P.	0,00	0,00	0,71	0,71	0,71	1,00	
0,15	s1	0	1	-1	0	1	-1
	s2	0	2	-1	0	2	-1
	s3	0	2	-1	0	1	-1
	s4	0	2	-2	1	2	-2
	s5	0	1	0	0	1	-1
	s6	0	2	0	0	2	-2
	Média	0,00	1,67	-0,83	0,17	1,50	-1,33
Desvio P.	0,00	0,52	0,75	0,41	0,55	0,52	

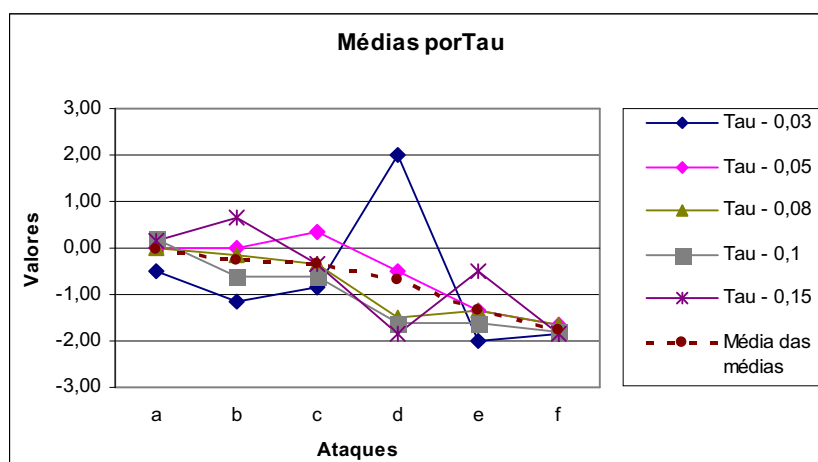


**Nota** **47**

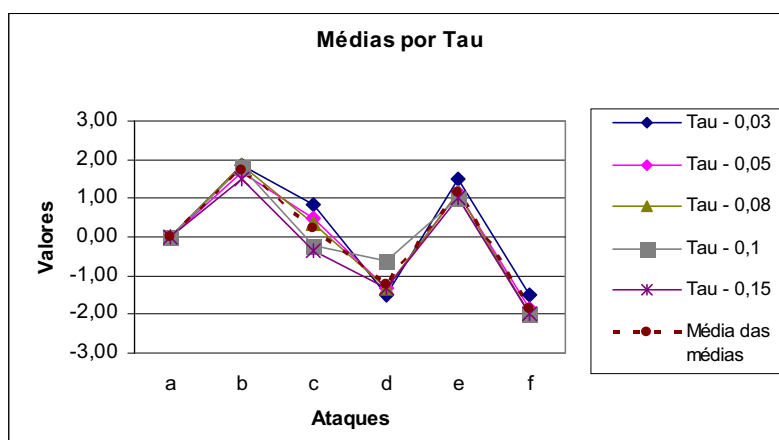
Tabela de resultados por Tau							
tau	Sujeitos	A	B	C	D	E	F
0,03	s1	0	2	0	-1	2	-2
	s2	0	2	-1	1	2	-2
	s3	0	2	0	0	1	-1
	s4	0	2	1	-2	2	-2
	s5	0	2	0	-1	2	-1
	s6	0	2	1	2	2	-2
	Média	0,00	2,00	0,17	-0,17	1,83	-1,67
Desvio P.	0,00	0,00	0,75	1,47	0,41	0,52	
0,05	s1	0	2	0	-1	0	-2
	s2	0	2	-1	-1	2	-2
	s3	0	2	0	0	1	-2
	s4	0	2	1	-2	2	-2
	s5	0	2	0	0	2	-1
	s6	0	2	-1	-2	2	-2
	Média	0,00	2,00	-0,17	-1,00	1,50	-1,83
Desvio P.	0,00	0,00	0,75	0,89	0,84	0,41	
0,08	s1	0	2	1	-1	1	-2
	s2	0	2	-1	-1	2	-2
	s3	0	2	0	0	1	-1
	s4	0	2	-1	-2	2	-2
	s5	0	2	-1	0	2	-1
	s6	0	2	-1	0	2	-2
	Média	0,00	2,00	-0,50	-0,67	1,67	-1,67
Desvio P.	0,00	0,00	0,84	0,82	0,52	0,52	
0,1	s1	0	2	0	-1	1	-2
	s2	0	2	-1	-1	1	-2
	s3	0	1	0	0	2	-2
	s4	0	2	0	-2	2	-2
	s5	0	1	-1	0	2	-2
	s6	1	2	0	0	2	-2
	Média	0,20	1,60	-0,40	-0,60	1,80	-2,00
Desvio P.	0,45	0,55	0,55	0,89	0,45	0,00	
0,15	s1	0	2	0	0	2	-2
	s2	0	2	-1	-1	2	-2
	s3	0	2	0	0	1	-2
	s4	0	2	-2	-2	2	-2
	s5	0	2	0	-1	2	-2
	s6	0	2	-1	-2	2	-2
	Média	0,00	2,00	-0,67	-1,00	1,83	-2,00
Desvio P.	0,00	0,00	0,82	0,89	0,41	0,00	



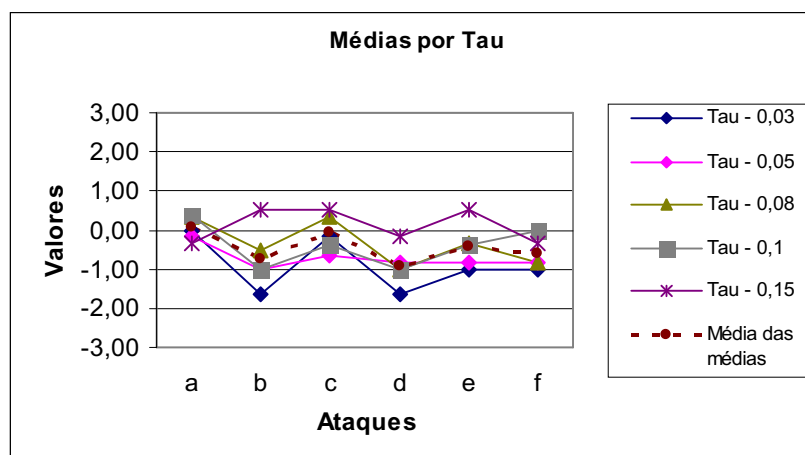
		Nota 40					
Tabela de resultados por Tau							
tau	Sujeitos	A	B	C	D	E	F
0,03	s1	-3	1	1	2	-2	-2
	s2	0	-2	-2	2	-2	-2
	s3	0	-1	-1	2	-2	-2
	s4	0	-1	-1	2	-2	-2
	s5	0	-2	0	2	-2	-1
	s6	0	-2	-2	2	-2	-2
	Média	-0,50	-1,17	-0,83	2,00	-2,00	-1,83
	Desvio P.	1,22	1,17	1,17	0,00	0,00	0,41
0,05	s1	0	1	2	2	-1	-1
	s2	0	-1	-1	-2	-2	-2
	s3	0	0	0	-1	-1	-1
	s4	0	1	2	1	-1	-2
	s5	0	0	-1	-1	-1	-2
	s6	0	-1	0	-2	-2	-2
	Média	0,00	0,00	0,33	-0,50	-1,33	-1,67
	Desvio P.	0,00	0,89	1,37	1,64	0,52	0,52
0,08	s1	0	2	2	1	-1	-1
	s2	0	-2	-1	-2	-2	-1
	s3	0	0	0	-2	-1	-2
	s4	0	1	0	-2	-1	-2
	s5	0	0	-2	-2	-1	-2
	s6	0	-2	-1	-2	-2	-2
	Média	0,00	-0,17	-0,33	-1,50	-1,33	-1,67
	Desvio P.	0,00	1,60	1,37	1,22	0,52	0,52
0,1	s1	0	0	0	-1	0	-1
	s2	0	-1	-1	-1	-2	-2
	s3	0	1	0	-1	-1	-2
	s4	1	-1	0	-2	-2	-1
	s5	0	0	-2	-2	-1	-2
	s6	0	-2	0	-2	-2	-2
	Média	0,20	-0,60	-0,60	-1,60	-1,60	-1,80
	Desvio P.	0,45	1,14	0,89	0,55	0,55	0,45
0,15	s1	0	2	1	-1	1	-1
	s2	0	1	-1	-2	-1	-2
	s3	0	0	-1	-2	-1	-2
	s4	1	1	1	-2	1	-2
	s5	0	-1	-2	-2	-1	-2
	s6	0	1	0	-2	-2	-2
	Média	0,17	0,67	-0,33	-1,83	-0,50	-1,83
	Desvio P.	0,41	1,03	1,21	0,41	1,22	0,41



		Nota 512					
		Tabela de resultados por Tau					
tau	Sujeitos	A	B	C	D	E	F
0,03	s1	0	2	-2	-2	1	-2
	s2	0	2	2	-1	2	-1
	s3	0	1	0	-2	0	-1
	s4	0	2	1	-1	2	-2
	s5	0	2	2	-1	2	-1
	s6	0	2	2	-2	2	-2
	Média	0,00	1,83	0,83	-1,50	1,50	-1,50
	Desvio P.	0,00	0,41	1,60	0,55	0,84	0,55
0,05	s1	0	2	-1	-1	0	-2
	s2	0	2	1	-1	2	-2
	s3	0	1	0	-2	0	-2
	s4	0	2	-1	-1	2	-2
	s5	0	1	2	-1	1	-1
	s6	0	2	2	-2	2	-2
	Média	0,00	1,67	0,50	-1,33	1,17	-1,83
	Desvio P.	0,00	0,52	1,38	0,52	0,98	0,41
0,08	s1	0	2	0	-1	1	-2
	s2	0	2	0	0	2	-2
	s3	0	1	0	-2	1	-2
	s4	0	2	1	-2	0	-2
	s5	0	2	0	-2	1	-2
	s6	0	2	1	-1	2	-2
	Média	0,00	1,83	0,33	-1,33	1,17	-2,00
	Desvio P.	0,00	0,41	0,52	0,82	0,75	0,00
0,1	s1	0	2	0	-2	1	-2
	s2	0	2	-1	-1	1	-2
	s3	0	1	0	-1	0	-2
	s4	0	2	1	-1	1	-2
	s5	0	2	-1	-1	1	-2
	s6	0	2	0	1	2	-2
	Média	0,00	1,80	-0,20	-0,60	1,00	-2,00
	Desvio P.	0,00	0,45	0,84	0,89	0,71	0,00
0,15	s1	0	2	-1	-1	1	-2
	s2	0	2	0	-1	1	-2
	s3	0	-1	0	-1	0	-2
	s4	0	2	-1	-2	1	-2
	s5	0	2	0	-1	1	-2
	s6	0	2	0	-2	2	-2
	Média	0,00	1,50	-0,33	-1,33	1,00	-2,00
	Desvio P.	0,00	1,22	0,52	0,52	0,63	0,00



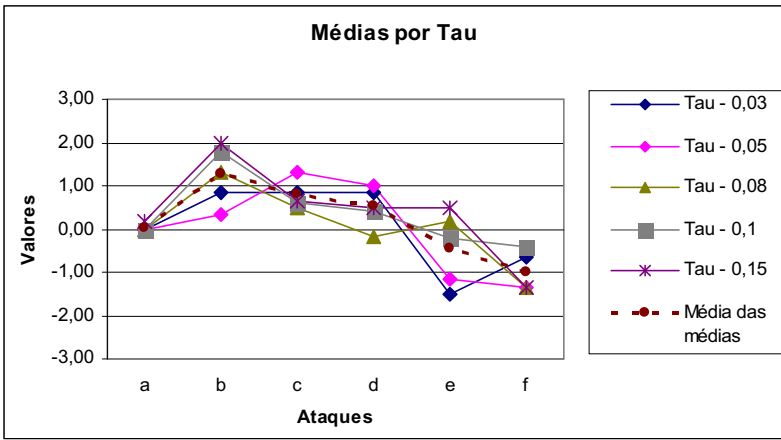
		Nota 53					
Tabela de resultados por Tau							
tau	Sujeitos	A	B	C	D	E	F
0,03	s1	0	-2	1	-1	0	-1
	s2	0	-2	-2	-2	-2	-2
	s3	0	-2	-1	-1	0	-1
	s4	0	-1	2	-2	-1	1
	s5	0	-1	-1	-2	-1	-1
	s6	0	-2	0	-2	-2	-2
	Média	0,00	-1,67	-0,17	-1,67	-1,00	-1,00
	Desvio P.	0,00	0,52	1,47	0,52	0,89	1,10
0,05	s1	0	0	0	0	0	0
	s2	0	-1	-1	-2	-1	-2
	s3	0	-1	-1	-1	-1	-1
	s4	0	-1	0	1	-1	-1
	s5	0	-1	0	-1	0	0
	s6	-1	-2	-2	-2	-2	-1
	Média	-0,17	-1,00	-0,67	-0,83	-0,83	-0,83
	Desvio P.	0,41	0,63	0,82	1,17	0,75	0,75
0,08	s1	0	1	1	-2	0	-1
	s2	0	-1	0	0	0	0
	s3	0	-1	-1	-1	0	-1
	s4	0	1	1	-1	-1	0
	s5	0	-1	-1	-1	-1	-1
	s6	2	-2	2	-1	0	-2
	Média	0,33	-0,50	0,33	-1,00	-0,33	-0,83
	Desvio P.	0,82	1,22	1,21	0,63	0,52	0,75
0,1	s1	0	1	-1	-1	-1	0
	s2	0	-1	-1	-1	0	-1
	s3	0	-1	-1	-1	-1	-1
	s4	0	-1	1	-1	-1	1
	s5	0	0	0	-1	0	0
	s6	2	-2	-1	-1	0	1
	Média	0,40	-1,00	-0,40	-1,00	-0,40	0,00
	Desvio P.	0,89	0,71	0,89	0,00	0,55	1,00
0,15	s1	-2	2	2	2	2	-1
	s2	0	0	-1	-1	0	-1
	s3	0	1	-1	-1	1	-1
	s4	0	1	1	-1	1	1
	s5	0	1	1	-1	-1	1
	s6	0	-2	1	1	0	-1
	Média	-0,33	0,50	0,50	-0,17	0,50	-0,33
	Desvio P.	0,82	1,38	1,22	1,33	1,05	1,03





**Nota**                      **60**

Tabela de resultados por Tau							
tau	Sujeitos	A	B	C	D	E	F
0,03	s1	0	1	0	2	-1	-1
	s2	0	-1	1	-2	-2	-1
	s3	0	1	0	1	-1	0
	s4	0	0	1	2	-1	-2
	s5	0	2	1	2	-2	0
	s6	0	2	2	0	-2	0
	Média	0,00	0,83	0,83	0,83	-1,50	-0,67
Desvio P.	0,00	1,17	0,75	1,60	0,55	0,82	
0,05	s1	0	2	2	2	0	-1
	s2	0	-1	1	1	-1	-1
	s3	0	1	0	0	0	0
	s4	0	-1	2	0	-2	-2
	s5	0	2	1	1	-2	-2
	s6	0	-1	2	2	-2	-2
	Média	0,00	0,33	1,33	1,00	-1,17	-1,33
Desvio P.	0,00	1,51	0,82	0,89	0,98	0,82	
0,08	s1	0	2	2	1	2	-1
	s2	0	1	1	-1	1	-1
	s3	0	0	-1	2	1	-1
	s4	0	1	1	0	-1	-2
	s5	0	2	-2	-1	-1	-1
	s6	0	2	2	-2	-1	-2
	Média	0,00	1,33	0,50	-0,17	0,17	-1,33
Desvio P.	0,00	0,82	1,64	1,47	1,33	0,52	
0,1	s1	1	2	1	2	1	-1
	s2	0	1	1	1	1	-1
	s3	0	2	-1	0	0	0
	s4	0	2	2	-2	-1	1
	s5	0	2	-1	1	-1	-2
	s6	0	2	2	2	0	0
	Média	0,00	1,80	0,60	0,40	-0,20	-0,40
Desvio P.	0,00	0,45	1,52	1,52	0,84	1,14	
0,15	s1	1	2	2	1	1	0
	s2	0	2	1	2	1	-1
	s3	0	2	-1	-1	0	-1
	s4	0	2	1	1	0	-2
	s5	0	2	-1	-1	1	-2
	s6	0	2	2	1	0	-2
	Média	0,17	2,00	0,67	0,50	0,50	-1,33
Desvio P.	0,41	0,00	1,37	1,22	0,55	0,82	



## **ANEXO B**

(1) Tabelas (p. 149 a 160) e (2) gráficos (p. 161 a 172) de resultados das avaliações de volume percebido.

Nota - 112

Resultados

Ataque	Sujeitos	A2	B2	C2	D2	E2	F2
A1	s1	0	1	0	-1	-1	1
	s2	0	1	-2	-1	-2	0
	s3	0	2	-1	0	-1	0
	s4	0	1	-1	0	-1	0
	s5	0	-1	0	0	-2	0
	s6	0	-1	-2	-2	-2	1
	Média	0,00	0,50	-1,00	-0,67	-1,50	0,33

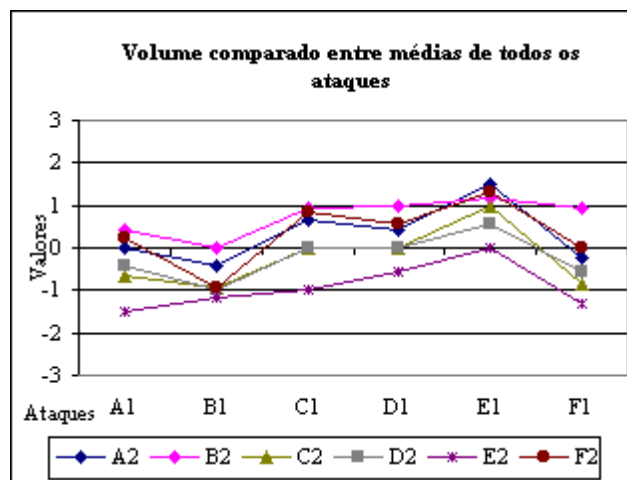
Ataque	Sujeitos	A2	B2	C2	D2	E2	F2
B1	s1	-1	-1	0	-2	2	2
	s2	-1	0	-2	-1	-1	-1
	s3	-1	0	-1	-1	-1	-1
	s4	-1	1	-1	-1	-1	1
	s5	0	0	0	1	0	0
	s6	2	0	2	0	-2	2
	Média	-0,33	0,00	-0,33	-0,67	-0,50	0,50

Ataque	Sujeitos	A2	B2	C2	D2	E2	F2
C1	s1	0	2	0	-1	-1	0
	s2	1	1	0	0	-1	1
	s3	1	2	0	0	-1	0
	s4	1	2	0	1	-1	1
	s5	0	0	0	0	-1	0
	s6	-1	2	0	2	-2	2
	Média	0,33	1,50	0,00	0,33	-1,17	0,67

Ataque	Sujeitos	A2	B2	C2	D2	E2	F2
D1	s1	0	2	2	0	0	1
	s2	1	1	1	0	-1	2
	s3	1	2	-1	0	0	0
	s4	1	1	1	0	1	2
	s5	0	0	-1	0	-2	0
	s6	-2	2	-2	0	0	1
	Média	0,17	1,33	0,00	0,00	-0,33	1,00

Ataque	Sujeitos	A2	B2	C2	D2	E2	F2
E1	s1	2	2	-1	2	0	2
	s2	2	2	1	1	0	1
	s3	2	2	1	0	0	1
	s4	-1	2	1	-1	0	2
	s5	2	1	1	1	0	-1
	s6	2	2	2	2	0	1
	Média	1,50	1,83	0,83	0,83	0,00	1,00

Ataque	Sujeitos	A2	B2	C2	D2	E2	F2
F1	s1	0	1	-2	0	-2	0
	s2	-1	2	-1	-1	-2	0
	s3	0	2	-1	0	-1	0
	s4	0	2	0	0	-1	0
	s5	0	0	0	0	-2	0
	s6	0	2	-2	0	-2	0
	Média	-0,17	1,50	-1,00	-0,17	-1,67	0,00



Médias de resultados por ataque

Ataque	A2	B2	C2	D2	E2	F2
A1	0,00	0,50	-	-0,67	<b>-1,50</b>	0,33
B1	-0,33	0,00	-	-0,67	-0,50	0,50
C1	0,33	<b>1,50</b>	0,00	0,33	<b>-1,17</b>	0,67
D1	0,17	<b>1,33</b>	0,00	0,00	-0,33	<b>1,00</b>
E1	<b>1,50</b>	<b>1,83</b>	<b>0,83</b>	0,83	0,00	<b>1,00</b>
F1	-0,17	<b>1,50</b>	-	-0,17	<b>-1,67</b>	0,00

Desvio padrão entre sujeitos

Ataque	A2	B2	C2	D2	E2	F2
A1	0,00	1,22	0,89	0,82	0,55	0,52
B1	1,21	0,63	1,37	1,03	1,38	1,38
C1	0,82	0,84	0,00	1,03	0,41	0,82
D1	1,17	0,82	1,55	0,00	1,03	0,89
E1	1,22	0,41	0,98	1,17	0,00	1,10
F1	0,41	0,84	0,89	0,41	0,52	0,00

Média das médias entre inversões de ordem

Ataque	A2	B2	C2	D2	E2	F2
A1	0,00	0,42	-	-0,42	-1,50	0,25
B1	-0,42	0,00	-	-1,00	-1,17	-0,92
C1	0,67	0,92	0,00	0,00	-1,00	0,83
D1	0,42	1,00	0,00	0,00	-0,58	0,58
E1	1,50	1,17	1,00	0,58	0,00	1,33
F1	-0,25	0,92	-	-0,58	-1,33	0,00

## Nota - 13

## Resultados

Ataque	Sujeitos	A2	B2	C2	D2	E2	F2
A1	s1	2	2	-1	-1	-2	-1
	s2	0	2	-2	0	-1	-1
	s3	0	2	-1	0	-1	-1
	s4	0	2	-1	-1	-1	-1
	s5	0	0	-1	0	-2	-1
	s6	0	2	-2	-2	-2	-2
	Média	0,33	1,67	-1,33	-0,67	-1,50	-1,17

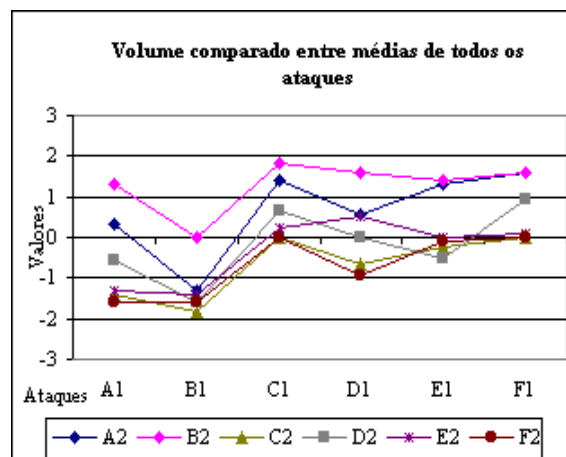
Ataque	Sujeitos	A2	B2	C2	D2	E2	F2
B1	s1	-1	0	-2	-1	-2	-2
	s2	-1	0	-2	-1	-1	-2
	s3	0	0	-1	-2	-1	-1
	s4	-1	0	-2	-1	-2	-2
	s5	-1	0	-1	-1	0	-2
	s6	-2	0	-2	-2	-2	-2
	Média	-1,00	0,00	-1,67	-1,33	-1,33	-1,83

Ataque	Sujeitos	A2	B2	C2	D2	E2	F2
C1	s1	2	2	0	1	-1	0
	s2	1	2	0	1	1	0
	s3	2	2	0	0	1	0
	s4	1	2	0	-1	1	0
	s5	1	2	0	1	1	0
	s6	2	2	0	1	-2	-2
	Média	1,50	2,00	0,00	0,50	0,17	-0,33

Ataque	Sujeitos	A2	B2	C2	D2	E2	F2
D1	s1	0	2	0	0	-2	-2
	s2	0	2	-2	0	-1	-1
	s3	0	2	-1	0	0	-1
	s4	1	2	0	0	1	-1
	s5	0	1	0	0	0	-1
	s6	2	2	-2	0	-2	-2
	Média	0,50	1,83	-0,83	0,00	-0,67	-1,33

Ataque	Sujeitos	A2	B2	C2	D2	E2	F2
E1	s1	2	2	-1	1	0	1
	s2	1	2	-1	-1	0	-2
	s3	0	1	-1	0	0	1
	s4	1	2	1	1	0	-1
	s5	1	0	-1	-1	0	-1
	s6	2	2	1	-2	0	2
	Média	1,17	1,50	-0,33	-0,33	0,00	0,00

Ataque	Sujeitos	A2	B2	C2	D2	E2	F2
F1	s1	2	2	0	1	-1	0
	s2	2	2	0	1	1	0
	s3	2	2	0	1	2	0
	s4	2	2	0	1	1	0
	s5	2	2	0	1	0	0
	s6	2	2	0	-2	-2	0
	Média	2,00	2,00	0,00	0,50	0,17	0,00



Médias de resultados por ataque						
Ataque	A2	B2	C2	D2	E2	F2
A1	0,33	<b>1,67</b>	<b>-1,33</b>	-0,67	<b>-1,50</b>	<b>-1,17</b>
B1	<b>-1,00</b>	0,00	<b>-1,67</b>	<b>-1,33</b>	<b>-1,33</b>	<b>-1,83</b>
C1	<b>1,50</b>	<b>2,00</b>	0,00	0,50	0,17	-0,33
D1	0,50	<b>1,83</b>	<b>-0,83</b>	0,00	-0,67	<b>-1,33</b>
E1	<b>1,17</b>	<b>1,50</b>	-0,33	-0,33	0,00	0,00
F1	<b>2,00</b>	<b>2,00</b>	0,00	0,50	0,17	0,00

Desvio padrão entre sujeitos						
Ataque	A2	B2	C2	D2	E2	F2
A1	0,82	0,82	0,52	0,82	0,55	0,41
B1	0,63	0,00	0,52	0,52	0,82	0,41
C1	0,55	0,00	0,00	0,84	1,33	0,82
D1	0,84	0,41	0,98	0,00	1,21	0,52
E1	0,75	0,84	1,03	1,21	0,00	1,55
F1	0,00	0,00	0,00	1,22	1,47	0,00

Média das médias entre inversões de ordem						
Ataque	A2	B2	C2	D2	E2	F2
A1	0,33	1,33	-1,42	-0,58	-1,33	-1,58
B1	-1,33	0,00	-1,83	-1,58	-1,42	-1,58
C1	1,42	1,83	0,00	0,67	0,25	0,00
D1	0,58	1,58	-0,67	0,00	0,50	-0,92
E1	1,33	1,42	-0,25	-0,50	0,00	-0,08
F1	1,58	1,58	0,00	0,92	0,08	0,00

## Nota 27

## Resultados

Ataque	Sujeitos	A2	B2	C2	D2	E2	F2
A1	s1	0	0	0	1	-1	2
	s2	0	1	1	1	1	1
	s3	0	0	1	0	0	1
	s4	0	1	1	1	-1	-1
	s5	0	-1	-1	0	-1	-1
	s6	0	2	1	0	-2	-2
	Média	0,00	0,50	0,50	0,50	-0,67	0,00

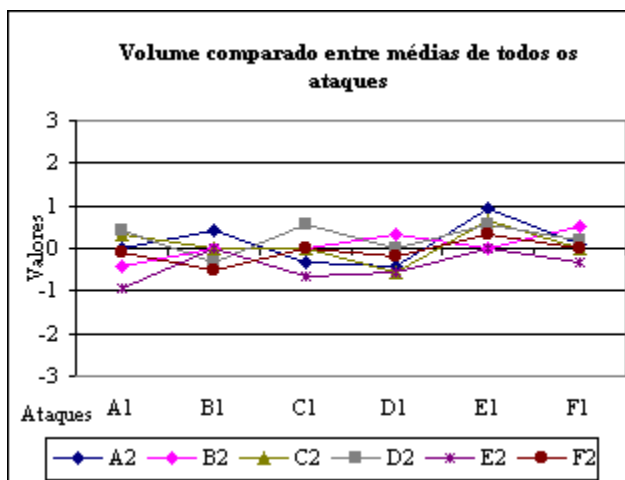
Ataque	Sujeitos	A2	B2	C2	D2	E2	F2
B1	s1	-1	0	-1	-1	0	0
	s2	0	0	-1	1	0	-1
	s3	-1	0	-1	-1	0	1
	s4	1	0	1	0	0	-1
	s5	1	0	-1	1	0	1
	s6	2	0	2	2	-1	2
	Média	0,33	0,00	-0,17	0,33	-0,17	0,33

Ataque	Sujeitos	A2	B2	C2	D2	E2	F2
C1	s1	0	-1	0	1	-1	0
	s2	0	1	0	1	1	0
	s3	0	1	0	-1	1	0
	s4	1	2	0	1	-1	-1
	s5	0	-1	0	1	1	0
	s6	-2	-2	0	2	-2	0
	Média	-0,17	0,00	0,00	0,83	-0,17	-0,17

Ataque	Sujeitos	A2	B2	C2	D2	E2	F2
D1	s1	-1	0	-1	0	0	-2
	s2	0	0	-2	0	1	-1
	s3	0	1	1	0	0	1
	s4	-1	1	-1	0	-1	1
	s5	0	0	-1	0	0	-1
	s6	0	0	2	0	-2	2
	Média	-0,33	0,33	-0,33	0,00	-0,33	0,00

Ataque	Sujeitos	A2	B2	C2	D2	E2	F2
E1	s1	0	0	1	1	0	-1
	s2	0	0	1	0	0	1
	s3	2	1	1	0	0	-1
	s4	2	-1	1	1	0	1
	s5	1	0	1	1	0	1
	s6	2	0	2	2	0	2
	Média	1,17	0,00	1,17	0,83	0,00	0,50

Ataque	Sujeitos	A2	B2	C2	D2	E2	F2
F1	s1	0	2	0	1	1	0
	s2	0	1	0	1	1	0
	s3	0	1	0	-1	1	0
	s4	2	1	0	2	-1	0
	s5	1	-1	0	1	-1	0
	s6	-2	2	0	-2	-2	0
	Média	0,17	1,00	0,00	0,33	-0,17	0,00



Médias de resultados por ataque						
Ataque	A2	B2	C2	D2	E2	F2
A1	0,00	0,50	0,50	<b>0,50</b>	-0,67	0,00
B1	0,33	0,00	-0,17	0,33	-0,17	0,33
C1	-0,17	0,00	0,00	<b>0,83</b>	-0,17	-0,17
D1	-0,33	0,33	-0,33	0,00	-0,33	0,00
E1	<b>1,17</b>	0,00	<b>1,17</b>	<b>0,83</b>	0,00	0,50
F1	0,17	<b>1,00</b>	0,00	0,33	-0,17	0,00

Desvio padrão entre sujeitos						
Ataque	A2	B2	C2	D2	E2	F2
A1	0,00	1,05	0,84	0,55	1,03	1,55
B1	1,21	0,00	1,33	1,21	0,41	1,21
C1	0,98	1,55	0,00	0,98	1,33	0,41
D1	0,52	0,52	1,51	0,00	1,03	1,55
E1	0,98	0,63	0,41	0,75	0,00	1,22
F1	1,33	1,10	0,00	1,51	1,33	0,00

Média das médias entre inversões de ordem						
Ataque	A2	B2	C2	D2	E2	F2
A1	0,00	-0,42	0,33	0,42	-0,92	-0,08
B1	0,42	0,00	0,00	-0,33	0,00	-0,50
C1	-0,33	0,00	0,00	0,58	-0,67	0,00
D1	-0,42	0,33	-0,58	0,00	-0,58	-0,17
E1	0,92	0,00	0,67	0,58	0,00	0,33
F1	0,08	0,50	0,00	0,17	-0,33	0,00

## Nota 20

Resultados

Ataque	Sujeitos	A2	B2	C2	D2	E2	F2
A1	s1	-1	2	-1	0	0	-1
	s2	0	1	-1	0	0	-2
	s3	0	1	-1	0	0	1
	s4	0	2	-2	-1	1	-1
	s5	0	1	0	-1	0	-1
	s6	0	2	-2	0	2	-2
	Média	-0,17	1,50	-1,17	-0,33	0,5	-1,00

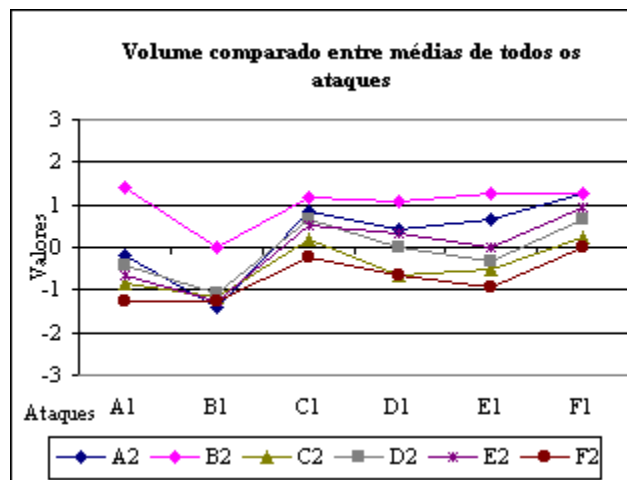
Ataque	Sujeitos	A2	B2	C2	D2	E2	F2
B1	s1	-1	0	-1	0	-2	-2
	s2	-1	0	-1	-1	0	-2
	s3	-1	0	2	-1	-2	1
	s4	-2	0	-2	-2	-1	-2
	s5	-1	0	-1	-2	0	-1
	s6	-2	0	-2	2	-2	-2
	Média	-1,33	0,00	-0,83	-0,67	-	-1,33

Ataque	Sujeitos	A2	B2	C2	D2	E2	F2
C1	s1	0	2	0	0	1	-1
	s2	-1	1	0	0	1	0
	s3	1	1	0	1	0	1
	s4	1	2	1	0	-1	1
	s5	0	1	0	0	0	0
	s6	2	2	0	2	-1	0
	Média	0,50	1,50	0,17	0,50	0,0	0,17

Ataque	Sujeitos	A2	B2	C2	D2	E2	F2
D1	s1	0	2	0	0	0	-1
	s2	1	1	-2	0	-1	-1
	s3	-1	2	-2	0	-1	1
	s4	1	1	1	0	1	-1
	s5	0	1	0	0	0	-1
	s6	2	2	-2	0	2	-2
	Média	0,50	1,50	-0,83	0,00	0,1	-0,83

Ataque	Sujeitos	A2	B2	C2	D2	E2	F2
E1	s1	1	2	0	-1	0	-1
	s2	1	2	-1	-1	0	-1
	s3	0	0	0	-1	0	1
	s4	1	2	-1	-1	0	-1
	s5	0	0	-2	-1	0	-1
	s6	2	2	-2	2	0	-2
	Média	0,83	1,33	-1,00	-0,50	0,0	-0,83

Ataque	Sujeitos	A2	B2	C2	D2	E2	F2
F1	s1	1	2	0	0	1	0
	s2	1	2	0	-1	1	0
	s3	2	1	-1	1	-1	0
	s4	2	2	1	1	2	0
	s5	1	0	0	0	1	0
	s6	2	2	2	2	2	0
	Média	1,50	1,50	0,33	0,50	1,0	0,00



Médias de resultados por ataque

Ataque	A2	B2	C2	D2	E2	F2
A1	-0,17	1,50	-1,17	-0,33	0,50	-1,00
B1	-1,33	0,00	-0,83	-0,67	-1,17	-1,33
C1	0,50	1,50	0,17	0,50	0,00	0,17
D1	0,50	1,50	-0,83	0,00	0,17	-0,83
E1	0,83	1,33	-1,00	-0,50	0,00	-0,83
F1	1,50	1,50	0,33	0,50	1,00	0,00

Desvio padrão entre sujeitos

Ataque	A2	B2	C2	D2	E2	F2
A1	0,41	0,55	0,75	0,52	0,84	1,10
B1	0,52	0,00	1,47	1,51	0,98	1,21
C1	1,05	0,55	0,41	0,84	0,89	0,75
D1	1,05	0,55	1,33	0,00	1,17	0,98
E1	0,75	1,03	0,89	1,22	0,00	0,98
F1	0,55	0,84	1,03	1,05	1,10	0,00

Média das médias entre inversões de ordem

Ataque	A2	B2	C2	D2	E2	F2
A1	-0,17	1,42	-0,83	-0,42	-0,67	-1,25
B1	-1,42	0,00	-1,17	-1,08	-1,25	-1,25
C1	0,83	1,17	0,17	0,67	0,50	-0,25
D1	0,42	1,08	-0,67	0,00	0,33	-0,67
E1	0,67	1,25	-0,50	-0,33	0,00	-0,92
F1	1,25	1,25	0,25	0,67	0,92	0,00

## Nota - 312

Resultados

Ataque	Sujeito	A2	B2	C2	D2	E2	F2
A1	s1	0	1	0	-1	-1	1
	s2	0	1	-2	-1	-2	0
	s3	0	2	-1	0	-1	0
	s4	0	1	-1	0	-1	0
	s5	0	-1	0	0	-2	0
	s6	0	-1	-2	-2	-2	1
	Média	0,00	0,50	-1,00	-0,67	-1,50	0,33

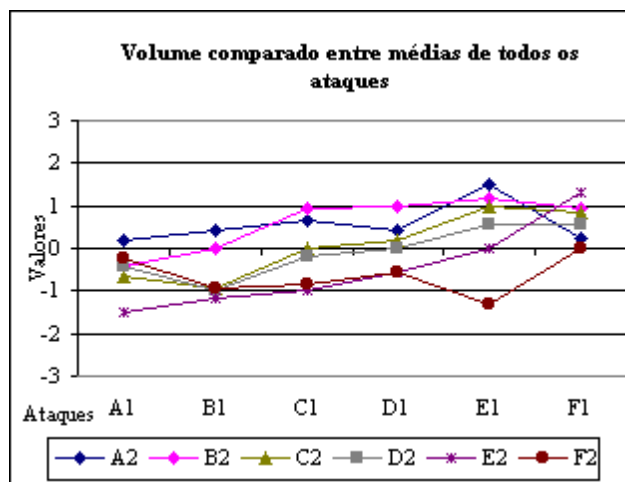
Ataque	Sujeito	A2	B2	C2	D2	E2	F2
B1	s1	-1	-1	0	-2	2	2
	s2	-1	0	-2	-1	-1	-1
	s3	-1	0	-1	-1	-1	-1
	s4	-1	1	-1	-1	-1	1
	s5	0	0	0	1	0	0
	s6	2	0	2	0	-2	2
	Média	-0,33	0,00	-0,33	-0,67	-0,50	0,50

Ataque	Sujeito	A2	B2	C2	D2	E2	F2
C1	s1	0	2	0	-1	-1	0
	s2	1	1	0	0	-1	1
	s3	1	2	0	0	-1	0
	s4	1	2	0	1	-1	1
	s5	0	0	0	0	-1	0
	s6	-1	2	0	2	-2	2
	Média	0,33	1,50	0,00	0,33	-1,17	0,67

Ataque	Sujeito	A2	B2	C2	D2	E2	F2
D1	s1	0	2	2	0	0	1
	s2	1	1	1	0	-1	2
	s3	1	2	-1	0	0	0
	s4	1	1	1	0	1	2
	s5	0	0	-1	0	-2	0
	s6	-2	2	-2	0	0	1
	Média	0,17	1,33	0,00	0,00	-0,33	1,00

Ataque	Sujeito	A2	B2	C2	D2	E2	F2
E1	s1	2	2	-1	2	0	2
	s2	2	2	1	1	0	1
	s3	2	2	1	0	0	1
	s4	-1	2	1	-1	0	2
	s5	2	1	1	1	0	-1
	s6	2	2	2	2	0	1
	Média	1,50	1,83	0,83	0,83	0,00	1,00

Ataque	Sujeito	A2	B2	C2	D2	E2	F2
F1	s1	0	1	-2	0	-2	0
	s2	-1	2	-1	-1	-2	0
	s3	0	2	-1	0	-1	0
	s4	0	2	0	0	-1	0
	s5	0	0	0	0	-2	0
	s6	0	2	-2	0	-2	0
	Média	-0,17	1,50	-1,00	-0,17	-1,67	0,00



Médias de resultados por ataque

Ataque	A2	B2	C2	D2	E2	F2
A1	0,00	0,50	<b>-1,00</b>	-0,67	<b>-1,50</b>	0,33
B1	-0,33	0,00	-0,33	-0,67	-0,50	0,50
C1	0,33	<b>1,50</b>	0,00	0,33	<b>-1,17</b>	0,67
D1	0,17	<b>1,33</b>	0,00	0,00	-0,33	<b>1,00</b>
E1	<b>1,50</b>	<b>1,83</b>	<b>0,83</b>	0,83	0,00	<b>1,00</b>
F1	-0,17	<b>1,50</b>	<b>-1,00</b>	-0,17	<b>-1,67</b>	0,00

Desvio padrão entre sujeitos

Ataque	A2	B2	C2	D2	E2	F2
A1	0,00	1,22	0,89	0,82	0,55	0,52
B1	1,21	0,63	1,37	1,03	1,38	1,38
C1	0,82	0,84	0,00	1,03	0,41	0,82
D1	1,17	0,82	1,55	0,00	1,03	0,89
E1	1,22	0,41	0,98	1,17	0,00	1,10
F1	0,41	0,84	0,89	0,41	0,52	0,00

Média das médias entre inversões de ordem

Ataque	A2	B2	C2	D2	E2	F2
A1	0,21	-0,42	-0,67	-0,42	-1,50	-0,25
B1	0,42	0,00	-0,92	-1,00	-1,17	-0,92
C1	0,67	0,92	0,00	-0,17	-1,00	-0,83
D1	0,42	1,00	0,17	0,00	-0,58	-0,58
E1	1,50	1,17	1,00	0,58	0,00	-1,33
F1	0,25	0,92	0,83	0,58	1,33	0,00

Nota - 33

## Resultados

Ataque	Sujeito	A2	B2	C2	D2	E2	F2
A1	s1	1	2	0	0	2	-1
	s2	0	2	0	0	1	0
	s3	0	0	0	0	2	0
	s4	1	-1	1	0	1	-1
	s5	1	1	0	0	1	0
	s6	1	-1	0	-1	2	1
	Média	0,67	0,50	0,17	-0,17	1,5	-0,17

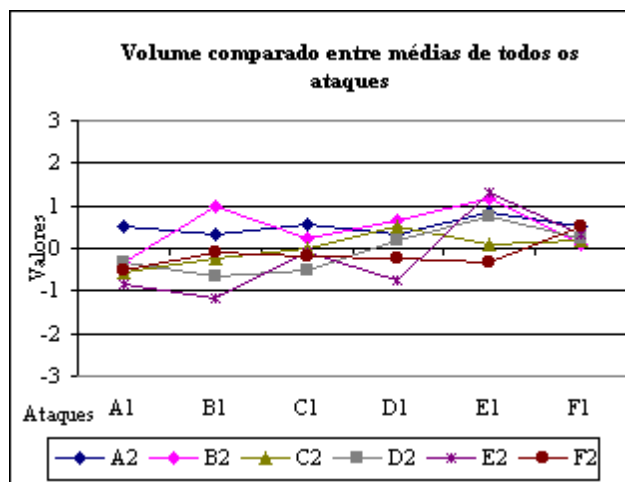
Ataque	Sujeito	A2	B2	C2	D2	E2	F2
B1	s1	0	0	0	1	2	-1
	s2	0	1	0	0	2	-1
	s3	0	2	1	0	2	1
	s4	1	1	0	1	1	1
	s5	0	0	-1	0	0	-1
	s6	0	2	0	1	1	-1
	Média	0,17	1,00	0,00	0,50	1,3	-0,33

Ataque	Sujeito	A2	B2	C2	D2	E2	F2
C1	s1	-1	0	-1	-1	0	-1
	s2	-1	0	-1	-1	0	-2
	s3	-2	-1	1	-1	0	1
	s4	-2	-1	1	-1	0	1
	s5	-1	0	-1	0	0	-1
	s6	1	-1	1	-1	0	1
	Média	-1,00	-0,50	0,00	-0,83	0,0	-0,17

Ataque	Sujeito	A2	B2	C2	D2	E2	F2
D1	s1	1	2	0	0	2	0
	s2	1	1	0	1	2	0
	s3	0	1	0	-1	1	0
	s4	1	1	1	1	2	0
	s5	1	1	0	1	2	0
	s6	-1	-1	0	-1	-1	0
	Média	0,50	0,83	0,17	0,17	1,3	0,00

Ataque	Sujeito	A2	B2	C2	D2	E2	F2
E1	s1	0	1	0	0	1	-1
	s2	0	2	1	0	2	1
	s3	-1	1	-1	-1	1	1
	s4	0	1	-1	0	1	-1
	s5	0	-1	1	0	1	1
	s6	0	2	-1	0	2	-1
	Média	-0,17	1,00	-0,17	-0,17	1,3	0,00

Ataque	Sujeito	A2	B2	C2	D2	E2	F2
F1	s1	0	0	-1	1	0	-1
	s2	-1	0	-1	-1	0	1
	s3	1	0	1	1	1	-1
	s4	1	0	-1	-1	0	-1
	s5	2	0	1	1	1	1
	s6	2	0	2	2	2	-2
	Média	0,83	0,00	0,17	0,50	0,6	-0,50



Médias de resultados por ataque						
Ataque	A2	B2	C2	D2	E2	F2
A1	0,67	0,50	0,17	-0,17	1,50	-0,17
B1	<b>0,17</b>	1,00	0,00	0,50	1,33	-0,33
C1	<b>-1,00</b>	<b>-0,50</b>	0,00	<b>-0,83</b>	<b>0,00</b>	-0,17
D1	0,50	0,83	0,17	0,17	1,33	<b>0,00</b>
E1	<b>-0,17</b>	1,00	-0,17	-0,17	1,33	0,00
F1	0,83	<b>0,00</b>	0,17	0,50	0,67	-0,50

Desvio padrão entre sujeitos						
Ataque	A2	B2	C2	D2	E2	F2
A1	0,52	1,38	0,41	0,41	0,55	0,75
B1	0,41	0,89	0,63	0,55	0,82	1,03
C1	1,10	0,55	1,10	0,41	0,00	1,33
D1	0,84	0,98	0,41	0,98	1,21	0,00
E1	0,41	1,10	0,98	0,41	0,52	1,10
F1	1,17	0,00	1,33	1,22	0,82	1,22

Média das médias entre inversões de ordem						
Ataque	A2	B2	C2	D2	E2	F2
A1	0,50	-0,33	-0,58	-0,33	-0,83	-0,50
B1	0,33	1,00	-0,25	-0,67	-1,17	-0,08
C1	0,58	0,25	0,00	-0,50	-0,08	-0,17
D1	0,33	0,67	0,50	0,17	-0,75	-0,25
E1	0,83	1,17	0,08	0,75	1,33	-0,33
F1	0,50	0,08	0,17	0,25	0,33	0,50

## Nota - 4

## Resultados

Ataque	Sujeitos	A2	B2	C2	D2	E2	F2
A1	s1	-2	2	-1	0	2	-2
	s2	0	2	-1	0	2	-2
	s3	0	2	-1	0	0	-1
	s4	0	1	0	0	0	-2
	s5	0	2	-1	-1	1	-2
	s6	0	2	-2	0	0	-2
	Média	-0,33	1,8	-	-	0,83	-1,83

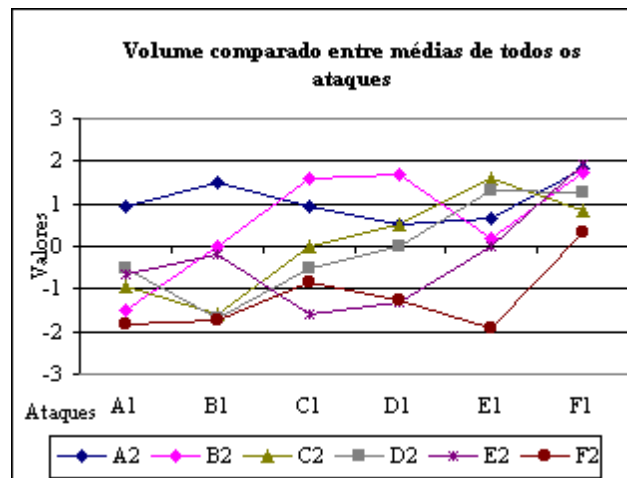
Ataque	Sujeitos	A2	B2	C2	D2	E2	F2
B1	s1	0	0	0	-1	0	-1
	s2	0	0	-2	-2	0	-2
	s3	-1	0	-1	-1	0	1
	s4	-2	0	-2	-2	0	-2
	s5	-2	0	-1	-2	0	-1
	s6	-2	0	-2	-2	-2	-2
	Média	-1,17	0,0	-	-	-0,33	-1,17

Ataque	Sujeitos	A2	B2	C2	D2	E2	F2
C1	s1	0	2	0	-1	2	-1
	s2	1	2	0	-1	2	0
	s3	1	2	0	0	1	-1
	s4	0	2	0	0	1	-1
	s5	1	1	0	-1	2	-1
	s6	2	2	0	-2	2	2
	Média	0,83	1,8	0,00	-	1,67	-0,33

Ataque	Sujeitos	A2	B2	C2	D2	E2	F2
D1	s1	0	1	1	0	1	-1
	s2	0	2	-1	0	2	-1
	s3	2	1	1	0	1	-2
	s4	0	2	-1	0	2	-1
	s5	1	2	1	0	1	-2
	s6	2	2	-2	0	2	-2
	Média	0,83	1,6	-	0,00	1,50	-1,50

Ataque	Sujeitos	A2	B2	C2	D2	E2	F2
E1	s1	-1	0	-1	-1	0	-2
	s2	-1	0	-2	-1	0	-2
	s3	-1	0	-1	-1	0	-1
	s4	-1	0	-2	0	0	-2
	s5	-1	0	-1	-2	0	-2
	s6	2	0	-2	-2	0	-2
	Média	-0,50	0,0	-	-	0,00	-1,83

Ataque	Sujeitos	A2	B2	C2	D2	E2	F2
F1	s1	2	0	0	0	2	-2
	s2	2	2	2	1	2	0
	s3	2	2	2	2	2	0
	s4	1	2	1	0	2	0
	s5	2	2	1	1	2	0
	s6	2	2	2	2	2	0
	Média	1,83	1,6	1,33	1,00	2,00	-0,33



## Médias de resultados por ataque

Ataque	A2	B2	C2	D2	E2	F2
A1	-0,33	1,83	-1,00	-0,17	0,83	-1,83
B1	-1,17	0,00	-1,33	-1,67	-0,33	-1,17
C1	0,83	1,83	0,00	-0,83	1,67	-0,33
D1	0,83	1,67	-0,17	0,00	1,50	-1,50
E1	-0,50	0,00	-1,50	-1,17	0,00	-1,83
F1	1,83	1,67	1,33	1,00	2,00	-0,33

## Desvio padrão entre sujeitos

Ataque	A2	B2	C2	D2	E2	F2
A1	0,82	0,41	0,63	0,41	0,98	0,41
B1	0,98	0,00	0,82	0,52	0,82	1,17
C1	0,75	0,41	0,00	0,75	0,52	1,21
D1	0,98	0,52	1,33	0,00	0,55	0,55
E1	1,22	0,00	0,55	0,75	0,00	0,41
F1	0,41	0,82	0,82	0,89	0,00	0,82

## Média das médias entre inversões de ordem

Ataque	A2	B2	C2	D2	E2	F2
A1	0,92	-1,50	-0,92	-0,50	-0,67	-1,83
B1	1,50	0,00	-1,58	-1,67	-0,17	-1,75
C1	0,92	1,58	0,00	-0,50	-1,58	-0,83
D1	0,50	1,67	0,50	0,00	-1,33	-1,25
E1	0,67	0,17	1,58	1,33	0,00	-1,92
F1	1,83	1,75	0,83	1,25	1,92	0,33

## Nota - 40

Resultados

Ataque	Sujeito	A2	B2	C2	D2	E2	F2
A1	s1	0	-1	-1	-1	-2	-1
	s2	0	0	-1	-1	-2	-2
	s3	0	-1	0	-1	-2	-2
	s4	1	0	-1	-1	-1	-1
	s5	-1	1	-1	-2	-1	-1
	s6	0	-2	-2	-2	-2	-2
	Média	0,00	-0,50	-1,00	-1,33	-1,67	-1,50

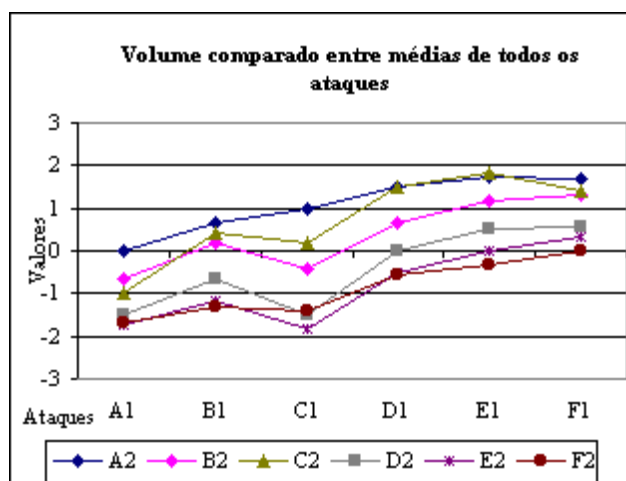
Ataque	Sujeito	A2	B2	C2	D2	E2	F2
B1	s1	-1	0	0	0	-1	-1
	s2	0	0	-1	-1	-2	-2
	s3	2	0	1	0	0	-1
	s4	1	0	0	-1	-1	-2
	s5	1	1	1	-1	-1	1
	s6	2	0	2	2	-2	-2
	Média	0,83	0,17	0,50	-0,17	-1,17	-1,17

Ataque	Sujeito	A2	B2	C2	D2	E2	F2
C1	s1	2	1	0	-2	-2	-1
	s2	0	-1	0	-1	-2	-2
	s3	2	-1	0	-2	-2	-1
	s4	1	0	0	-1	-1	-1
	s5	-1	1	1	-1	-2	-2
	s6	2	-2	0	-2	-2	-2
	Média	1,00	-0,33	0,17	-1,50	-1,83	-1,50

Ataque	Sujeito	A2	B2	C2	D2	E2	F2
D1	s1	2	2	1	0	1	0
	s2	2	1	2	0	-2	-1
	s3	2	0	1	0	-1	-1
	s4	1	1	1	0	-1	0
	s5	1	1	2	0	1	-2
	s6	2	2	2	0	-2	-2
	Média	1,67	1,17	1,50	0,00	-0,67	-1,00

Ataque	Sujeito	A2	B2	C2	D2	E2	F2
E1	s1	2	2	2	-1	0	0
	s2	2	0	2	0	0	-1
	s3	2	2	2	1	0	0
	s4	1	0	1	-1	0	-1
	s5	2	1	2	1	0	1
	s6	2	2	2	2	0	-2
	Média	1,83	1,17	1,83	0,33	0,00	-0,50

Ataque	Sujeito	A2	B2	C2	D2	E2	F2
F1	s1	2	2	2	1	0	0
	s2	2	1	1	-1	-1	0
	s3	2	1	2	0	-1	0
	s4	1	-1	0	0	0	0
	s5	2	2	1	1	1	0
	s6	2	2	2	0	2	0
	Média	1,83	1,17	1,33	0,17	0,17	0,00



Médias de resultados por ataque

Ataque	A2	B2	C2	D2	E2	F2
A1	0,00	-0,50	-1,00	-1,33	-1,67	-1,50
B1	0,83	0,17	0,50	-0,17	-1,17	-1,17
C1	1,00	-0,33	0,17	-1,50	-1,83	-1,50
D1	1,67	1,17	1,50	0,00	-0,67	-1,00
E1	1,83	1,17	1,83	0,33	0,00	-0,50
F1	1,83	1,17	1,33	0,17	0,17	0,00

Desvio padrão entre sujeitos

Ataque	A2	B2	C2	D2	E2	F2
A1	0,63	1,05	0,63	0,52	0,52	0,55
B1	1,17	0,41	1,05	1,17	0,75	1,17
C1	1,26	1,21	0,41	0,55	0,41	0,55
D1	0,52	0,75	0,55	0,00	1,37	0,89
E1	0,41	0,98	0,41	1,21	0,00	1,05
F1	0,41	1,17	0,82	0,75	1,17	0,00

Média das médias entre inversões de ordem

Ataque	A2	B2	C2	D2	E2	F2
A1	0,00	-0,67	-1,00	-1,50	-1,75	-1,67
B1	0,67	0,17	0,42	-0,67	-1,17	-1,33
C1	1,00	-0,42	0,17	-1,50	-1,83	-1,42
D1	1,50	0,67	1,50	0,00	-0,50	-0,58
E1	1,75	1,17	1,83	0,50	0,00	-0,33
F1	1,67	1,33	1,42	0,58	0,33	0,00

## Nota 512

Resultados

Ataque	Sujeito	A2	B2	C2	D2	E2	F2
A1	s1	0	-1	1	-1	-1	0
	s2	0	-1	-1	-1	1	-2
	s3	0	-1	2	-1	-1	0
	s4	0	-1	-1	-1	1	-2
	s5	0	0	-1	2	-1	-1
	s6	0	-2	-2	-2	-2	-2
	Média	0,00	-1,00	-0,33	-0,67	-0,50	-1,17

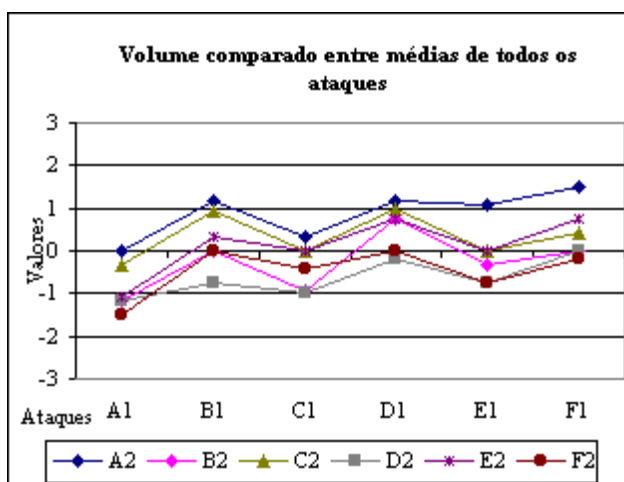
Ataque	Sujeito	A2	B2	C2	D2	E2	F2
B1	s1	2	0	1	0	1	1
	s2	2	0	2	-1	0	-1
	s3	2	0	2	-1	1	0
	s4	-1	0	-1	-1	-1	-2
	s5	1	0	1	-1	0	-1
	s6	2	0	2	2	2	2
	Média	1,33	0,00	1,17	-0,33	0,50	-0,17

Ataque	Sujeito	A2	B2	C2	D2	E2	F2
C1	s1	-2	-2	0	-1	-1	0
	s2	1	-1	0	-1	-1	-1
	s3	-1	-2	0	-1	-1	0
	s4	1	2	0	0	2	0
	s5	1	1	0	0	1	0
	s6	2	-2	0	0	1	0
	Média	0,33	-0,67	0,00	-0,50	0,17	-0,17

Ataque	Sujeito	A2	B2	C2	D2	E2	F2
D1	s1	1	1	2	0	2	1
	s2	2	1	1	0	1	0
	s3	1	1	2	0	-1	1
	s4	2	1	1	-1	2	1
	s5	2	1	1	0	1	0
	s6	2	2	2	0	2	0
	Média	1,67	1,17	1,50	-0,17	1,17	0,50

Ataque	Sujeito	A2	B2	C2	D2	E2	F2
E1	s1	1	-1	-1	0	0	0
	s2	2	0	1	1	0	-1
	s3	2	0	2	1	0	2
	s4	2	-1	-1	-2	0	-2
	s5	1	0	-1	-1	0	-1
	s6	2	1	0	-1	0	0
	Média	1,67	-0,17	0,00	-0,33	0,00	-0,33

Ataque	Sujeito	A2	B2	C2	D2	E2	F2
F1	s1	2	-1	1	0	2	0
	s2	2	1	1	-1	2	0
	s3	1	1	1	0	-2	0
	s4	2	1	1	1	2	-1
	s5	2	0	0	0	1	0
	s6	2	-2	0	0	2	0
	Média	1,83	0,00	0,67	0,00	1,17	-0,17



Médias de resultados por ataque						
Ataque	A2	B2	C2	D2	E2	F2
A1	0,00	<b>-1,00</b>	-0,33	-0,67	-0,50	<b>-1,17</b>
B1	<b>1,33</b>	0,00	<b>1,17</b>	-0,33	0,50	-0,17
C1	0,33	-0,67	0,00	-0,50	0,17	-0,17
D1	<b>1,67</b>	<b>1,17</b>	<b>1,50</b>	-0,17	<b>1,17</b>	<b>0,50</b>
E1	<b>1,67</b>	-0,17	0,00	-0,33	0,00	-0,33
F1	<b>1,83</b>	0,00	<b>0,67</b>	0,00	1,17	-0,17

Desvio padrão entre sujeitos						
Ataque	A2	B2	C2	D2	E2	F2
A1	0,00	0,63	1,51	1,37	1,22	0,98
B1	1,21	0,00	1,17	1,21	1,05	1,47
C1	1,51	1,75	0,00	0,55	1,33	0,41
D1	0,52	0,41	0,55	0,41	1,17	0,55
E1	0,52	0,75	1,26	1,21	0,00	1,37
F1	0,41	1,26	0,52	0,63	1,60	0,41

Média das médias entre inversões de ordem						
Ataque	A2	B2	C2	D2	E2	F2
A1	0,00	-1,17	-0,33	-1,17	-1,08	-1,50
B1	1,17	0,00	0,92	-0,75	0,33	0,00
C1	0,33	-0,92	0,00	-1,00	0,00	-0,42
D1	1,17	0,75	1,00	-0,17	0,75	0,00
E1	1,08	-0,33	0,00	-0,75	0,00	-0,75
F1	1,50	0,00	0,42	0,00	0,75	-0,17

## Nota 53

Resultados

Ataque	Sujeito	A2	B2	C2	D2	E2	F2
A1	s1	0	1	0	-1	1	0
	s2	0	-1	-2	-2	-1	-2
	s3	0	-1	1	-1	0	1
	s4	0	1	-2	-2	1	-2
	s5	0	-1	-2	-1	0	-1
	s6	0	-2	-2	0	-1	-2
	Média	0,00	-0,50	-1,17	-1,17	0,00	-1,00

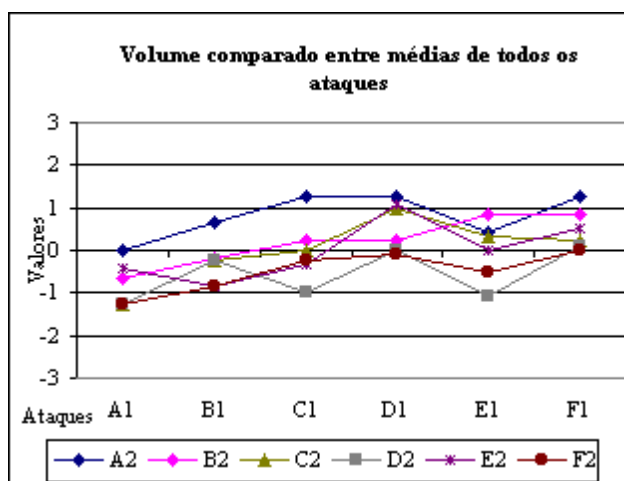
Ataque	Sujeito	A2	B2	C2	D2	E2	F2
B1	s1	-1	0	-1	0	1	-1
	s2	2	-1	-1	-1	2	-1
	s3	2	0	1	1	-1	1
	s4	-1	0	-2	-1	1	-1
	s5	1	0	-1	-1	0	-1
	s6	2	0	2	2	2	0
	Média	0,83	-0,17	-0,33	0,00	0,83	-0,50

Ataque	Sujeito	A2	B2	C2	D2	E2	F2
C1	s1	0	-1	0	-1	1	1
	s2	2	1	0	-2	1	0
	s3	1	-1	0	-2	-1	0
	s4	2	2	0	-1	2	-1
	s5	1	2	0	-1	1	0
	s6	2	-2	0	-2	-2	0
	Média	1,33	0,17	0,00	-1,50	0,33	0,00

Ataque	Sujeito	A2	B2	C2	D2	E2	F2
D1	s1	2	2	0	0	1	0
	s2	2	1	0	0	1	0
	s3	0	-1	2	0	1	0
	s4	1	1	1	0	1	0
	s5	1	0	0	0	1	0
	s6	2	0	0	0	2	0
	Média	1,33	0,50	0,50	0,00	1,17	0,00

Ataque	Sujeito	A2	B2	C2	D2	E2	F2
E1	s1	0	1	0	-1	0	-1
	s2	1	1	1	-1	0	-1
	s3	2	1	1	-1	0	1
	s4	-1	1	-1	-1	0	-1
	s5	1	0	-1	-1	0	-1
	s6	2	1	2	-1	0	2
	Média	0,83	0,83	0,33	-1,00	0,00	-0,17

Ataque	Sujeito	A2	B2	C2	D2	E2	F2
F1	s1	1	1	0	0	1	0
	s2	2	-1	1	1	1	0
	s3	1	1	1	1	-1	0
	s4	1	1	1	-1	1	0
	s5	2	1	0	0	1	0
	s6	2	1	0	0	2	0
	Média	1,50	0,67	0,50	0,17	0,83	0,00



Médias de resultados por ataque

Ataque	A2	B2	C2	D2	E2	F2
A1	0,00	-0,50	-1,17	-1,17	0,00	-1,00
B1	0,83	-0,17	-0,33	0,00	0,83	-0,50
C1	1,33	0,17	0,00	-1,50	0,33	0,00
D1	1,33	0,50	0,50	0,00	1,17	0,00
E1	0,83	0,83	0,33	-1,00	0,00	-0,17
F1	1,50	0,67	0,50	0,17	0,83	0,00

Desvio padrão entre sujeitos

Ataque	A2	B2	C2	D2	E2	F2
A1	0,00	1,22	1,33	0,75	0,89	1,26
B1	1,47	0,41	1,51	1,26	1,17	0,84
C1	0,82	1,72	0,00	0,55	1,51	0,63
D1	0,82	1,05	0,84	0,00	0,41	0,00
E1	1,17	0,41	1,21	0,00	0,00	1,33
F1	0,55	0,82	0,55	0,75	0,98	0,00

Média das médias entre inversões de ordem

Ataque	A2	B2	C2	D2	E2	F2
A1	0,00	-0,67	-1,25	-1,25	-0,42	-1,25
B1	0,67	-0,17	-0,25	-0,25	-0,83	-0,83
C1	1,25	0,25	0,00	-1,00	-0,33	-0,25
D1	1,25	0,25	1,00	0,00	1,08	-0,08
E1	0,42	0,83	0,33	-1,08	0,00	-0,50
F1	1,25	0,83	0,25	0,08	0,50	0,00

Resultados

Ataque	Sujeitos	A2	B2	C2	D2	E2	F2
A1	s1	0	-1	0	0	0	2
	s2	0	0	0	-1	-1	-1
	s3	0	0	0	1	0	-2
	s4	0	-1	-1	-1	1	-1
	s5	0	-1	-1	-1	0	-2
	s6	0	2	-2	-2	-2	-2
	Média	0,00	-0,17	-0,67	-0,67	-0,33	-1,00

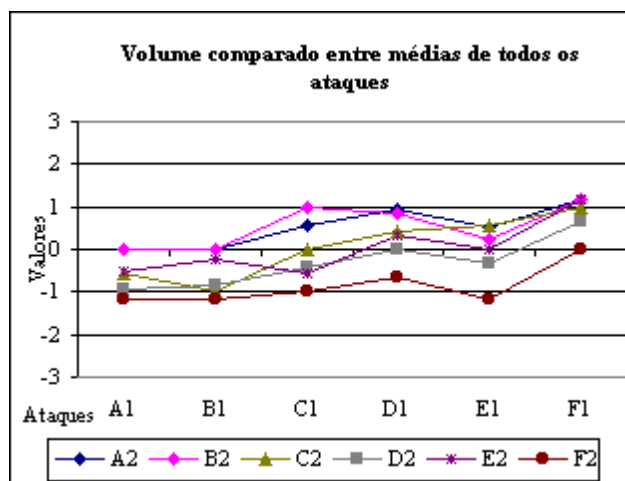
Ataque	Sujeitos	A2	B2	C2	D2	E2	F2
B1	s1	0	0	-1	0	0	-1
	s2	0	0	-1	-1	0	-1
	s3	0	0	-1	-1	0	-1
	s4	-1	0	-1	-1	1	-1
	s5	-1	0	-1	-1	0	-1
	s6	2	0	2	0	0	-2
	Média	0,00	0,00	-0,50	-0,67	0,17	-1,17

Ataque	Sujeitos	A2	B2	C2	D2	E2	F2
C1	s1	0	0	0	0	0	1
	s2	1	2	0	-1	0	-1
	s3	0	2	0	0	0	-1
	s4	0	2	0	2	2	-1
	s5	0	1	0	-1	0	-1
	s6	2	2	0	-2	2	-2
	Média	0,50	1,50	0,00	-0,33	0,67	-0,83

Ataque	Sujeitos	A2	B2	C2	D2	E2	F2
D1	s1	0	1	-1	0	-1	2
	s2	1	1	1	0	0	-1
	s3	1	0	1	0	1	1
	s4	2	2	0	0	-1	-2
	s5	1	0	0	0	0	-1
	s6	2	2	2	0	2	-2
	Média	1,17	1,00	0,50	0,00	0,17	-0,50

Ataque	Sujeitos	A2	B2	C2	D2	E2	F2
E1	s1	0	0	0	0	0	1
	s2	0	1	-1	1	0	-1
	s3	0	0	0	-1	0	-1
	s4	1	1	1	-1	0	-1
	s5	1	0	1	0	0	-1
	s6	2	0	2	-2	0	-2
	Média	0,67	0,33	0,50	-0,50	0,00	-0,83

Ataque	Sujeitos	A2	B2	C2	D2	E2	F2
F1	s1	-1	1	-1	0	0	0
	s2	2	2	2	2	2	0
	s3	1	1	1	0	2	0
	s4	2	1	2	1	2	0
	s5	2	1	1	1	1	0
	s6	2	2	2	1	2	0
	Média	1,33	1,33	1,17	0,83	1,50	0,00



Médias de resultados por ataque

Ataque	A2	B2	C2	D2	E2	F2
A1	0,00	-0,17	-0,67	-0,67	-0,33	-1,00
B1	0,00	0,00	-0,50	<b>-0,67</b>	0,17	<b>-1,17</b>
C1	0,50	<b>1,50</b>	0,00	-0,33	0,67	<b>-0,83</b>
D1	<b>1,17</b>	<b>1,00</b>	0,50	0,00	0,17	-0,50
E1	0,67	0,33	0,50	-0,50	0,00	<b>-0,83</b>
F1	<b>1,33</b>	<b>1,33</b>	<b>1,17</b>	<b>0,83</b>	<b>1,50</b>	0,00

Desvio padrão entre sujeitos

Ataque	A2	B2	C2	D2	E2	F2
A1	0,00	1,17	0,82	1,03	1,03	1,55
B1	1,10	0,00	1,22	0,52	0,41	0,41
C1	0,84	0,84	0,00	1,37	1,03	0,98
D1	0,75	0,89	1,05	0,00	1,17	1,64
E1	0,82	0,52	1,05	1,05	0,00	0,98
F1	1,21	0,52	1,17	0,75	0,84	0,00

Média das médias entre inversões de ordem

Ataque	A2	B2	C2	D2	E2	F2
A1	0,00	0,00	-0,58	-0,92	-0,50	-1,17
B1	0,00	0,00	-1,00	-0,83	-0,25	-1,17
C1	0,58	1,00	0,00	-0,42	-0,58	-1,00
D1	0,92	0,83	0,42	0,00	0,33	-0,67
E1	0,50	0,25	0,58	-0,33	0,00	-1,17
F1	1,17	1,17	1,00	0,67	1,17	0,00

Nota 60

Resultados

Ataque	Sujeito	A2	B2	C2	D2	E2	F2
A1	s1	0	2	2	1	1	-1
	s2	0	1	0	-1	-2	0
	s3	0	2	-1	0	0	0
	s4	0	2	-1	-2	1	-1
	s5	0	0	-1	-1	0	0
	s6	0	2	2	-2	-2	-2
	Média	0,00	1,50	0,17	-0,83	-0,33	-0,67

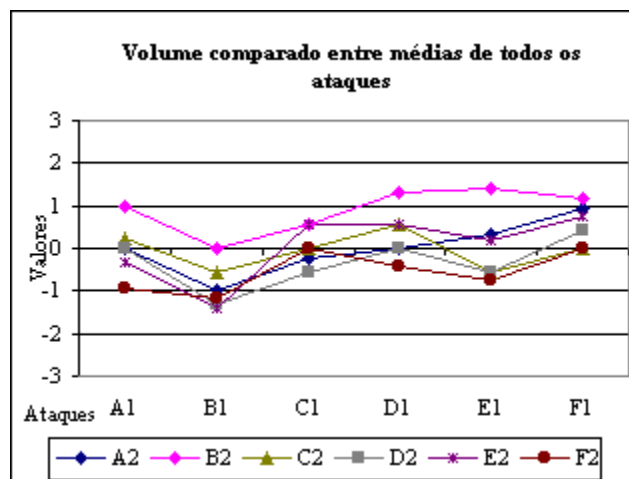
Ataque	Sujeito	A2	B2	C2	D2	E2	F2
B1	s1	-1	0	-1	-2	-2	-2
	s2	0	0	0	-2	0	-1
	s3	-2	0	-2	-1	-1	-1
	s4	-1	0	-1	-2	-2	-2
	s5	-1	0	-1	-1	-1	-1
	s6	2	0	2	-2	-1	-2
	Média	-0,50	0,00	-0,50	-1,67	-1,17	-1,50

Ataque	Sujeito	A2	B2	C2	D2	E2	F2
C1	s1	0	2	0	-1	0	0
	s2	0	0	0	-1	-1	-2
	s3	0	2	0	1	2	0
	s4	1	1	0	1	-1	-1
	s5	-1	1	0	-1	-1	-1
	s6	-2	-2	0	-2	-2	-2
	Média	-0,33	0,67	0,00	-0,50	-0,50	-1,00

Ataque	Sujeito	A2	B2	C2	D2	E2	F2
D1	s1	-1	2	0	0	-1	-1
	s2	1	-2	1	0	0	-1
	s3	0	1	-1	0	0	-1
	s4	0	2	1	0	0	-1
	s5	0	1	1	0	0	1
	s6	0	2	2	0	-2	2
	Média	0,00	1,00	0,67	0,00	-0,50	-0,17

Ataque	Sujeito	A2	B2	C2	D2	E2	F2
E1	s1	0	2	-2	-1	-1	-1
	s2	0	2	-1	-1	2	-2
	s3	0	2	-1	0	0	-2
	s4	2	2	-1	0	0	-1
	s5	0	0	-1	0	0	-1
	s6	0	2	2	-2	0	2
	Média	0,33	1,67	-0,67	-0,67	0,17	-0,83

Ataque	Sujeito	A2	B2	C2	D2	E2	F2
F1	s1	2	2	0	2	2	0
	s2	2	1	0	1	0	0
	s3	1	2	1	2	2	0
	s4	1	2	1	1	1	0
	s5	0	1	0	0	1	0
	s6	1	2	-2	-2	-2	0
	Média	1,17	1,67	0,00	0,67	0,67	0,00



Médias de resultados por ataque

Ataque	A2	B2	C2	D2	E2	F2
A1	0,00	<b>1,50</b>	0,17	-0,83	-0,33	-0,67
B1	-0,50	0,00	-0,50	<b>-1,67</b>	<b>-1,17</b>	<b>-1,50</b>
C1	-0,33	0,67	0,00	-0,50	-0,50	<b>-1,00</b>
D1	0,00	1,00	0,67	0,00	-0,50	-0,17
E1	0,33	<b>1,67</b>	-0,67	-0,67	0,17	-0,83
F1	<b>1,17</b>	<b>1,67</b>	0,00	0,67	0,67	0,00

Desvio padrão entre sujeitos

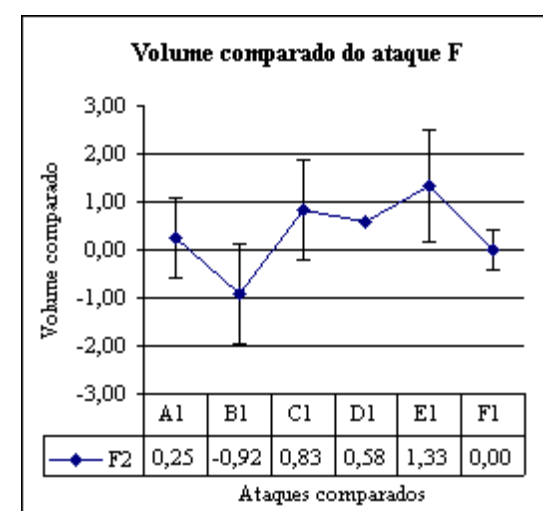
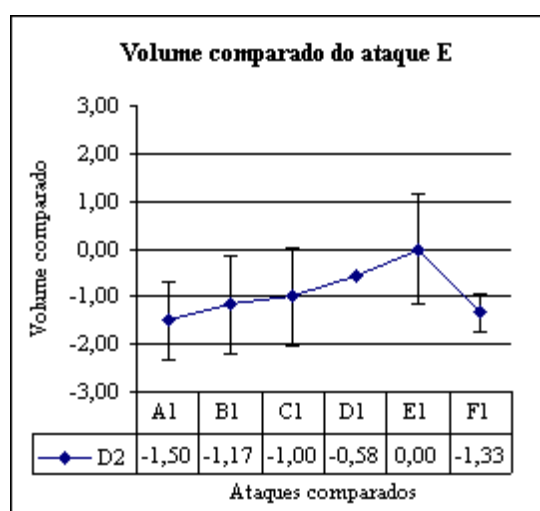
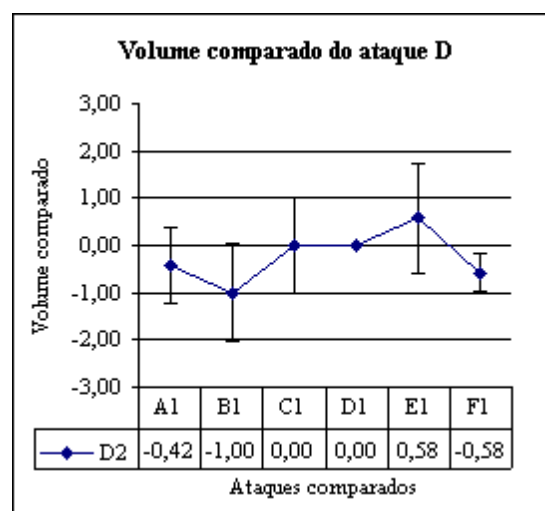
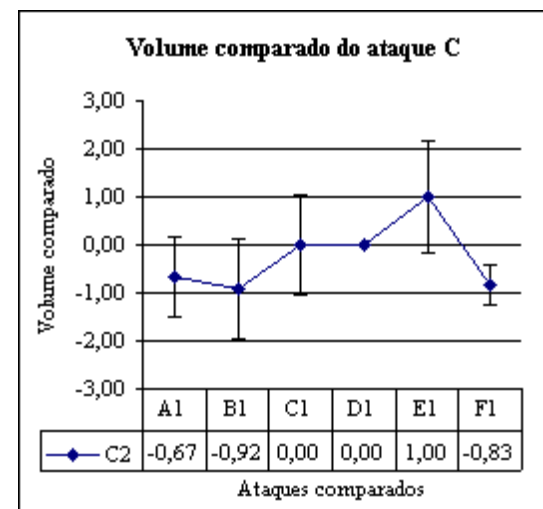
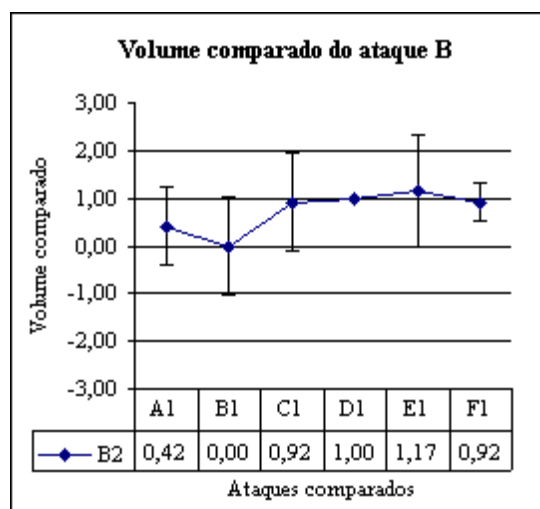
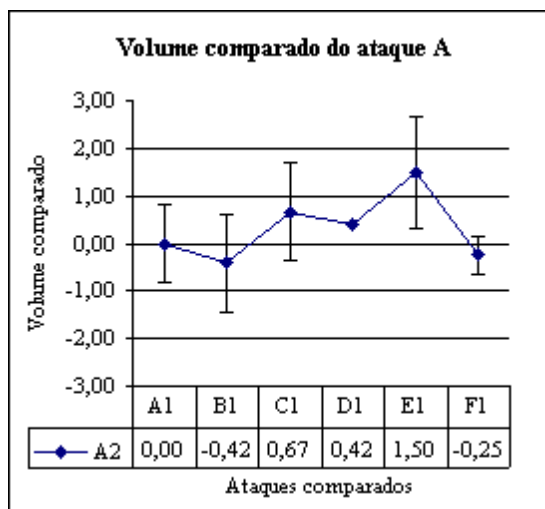
Ataque	A2	B2	C2	D2	E2	F2
A1	0,00	0,84	1,47	1,17	1,37	0,82
B1	1,38	0,00	1,38	0,52	0,75	0,55
C1	1,03	1,51	0,00	1,22	1,38	0,89
D1	0,63	1,55	1,03	0,00	0,84	1,33
E1	0,82	0,82	1,37	0,82	0,98	1,47
F1	0,75	0,52	1,10	1,51	1,51	0,00

Média das médias entre inversões de ordem

Ataque	A2	B2	C2	D2	E2	F2
A1	0,00	1,00	0,25	0,00	-0,33	-0,92
B1	-1,00	0,00	-0,58	-1,33	-1,42	-1,17
C1	-0,25	0,58	0,00	-0,58	0,58	0,00
D1	0,00	1,33	0,58	0,00	0,58	-0,42
E1	0,33	1,42	-0,58	-0,58	0,17	-0,75
F1	0,92	1,17	0,00	0,42	0,75	0,00

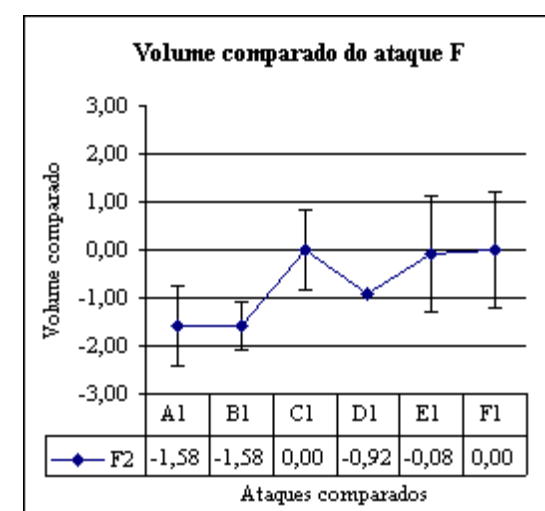
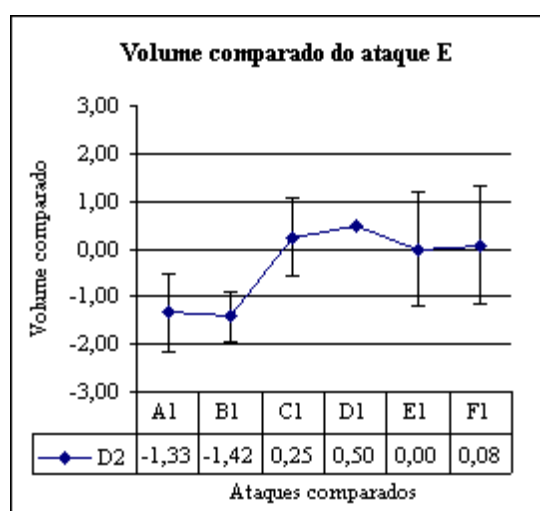
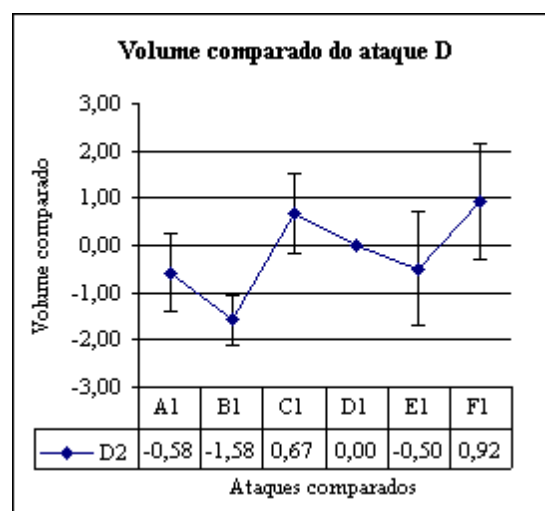
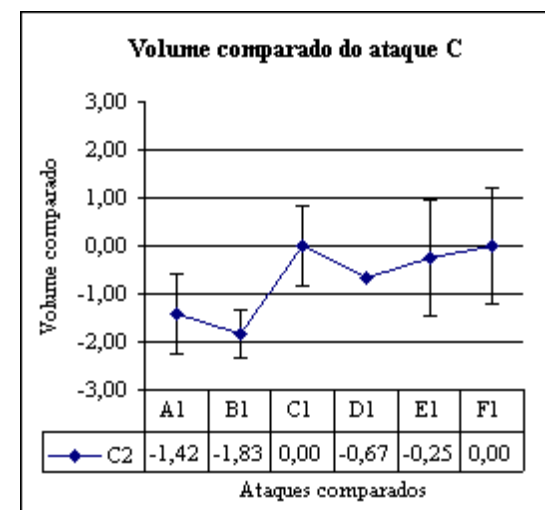
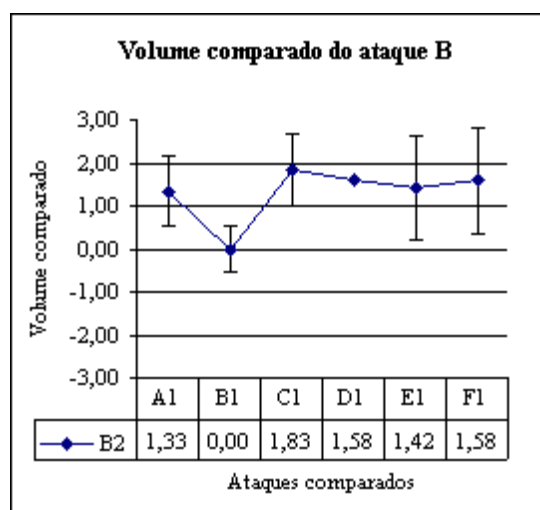
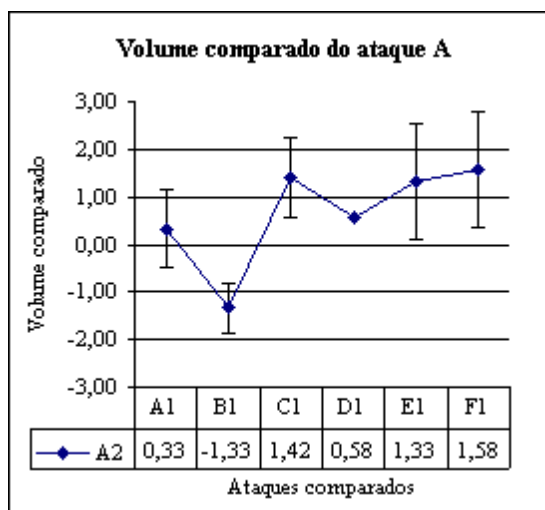
Gráficos de volume comparado dos seis tipos de ataques e desvio padrão entre sujeitos

Nota 112



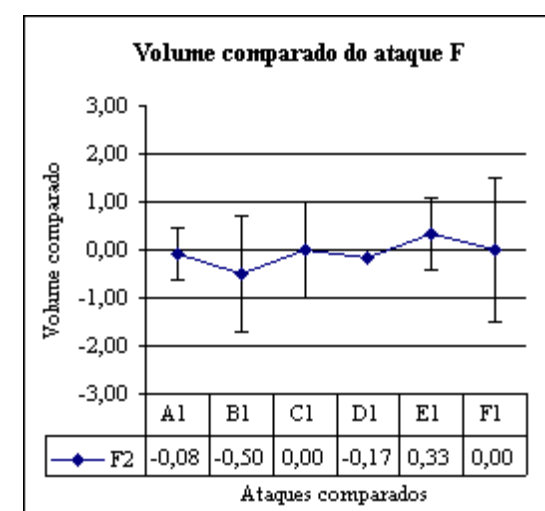
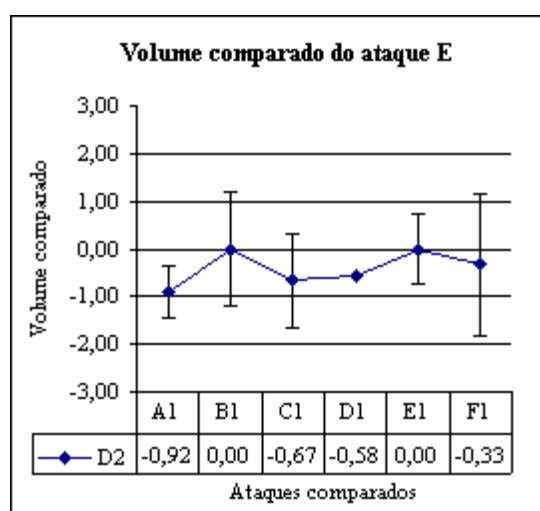
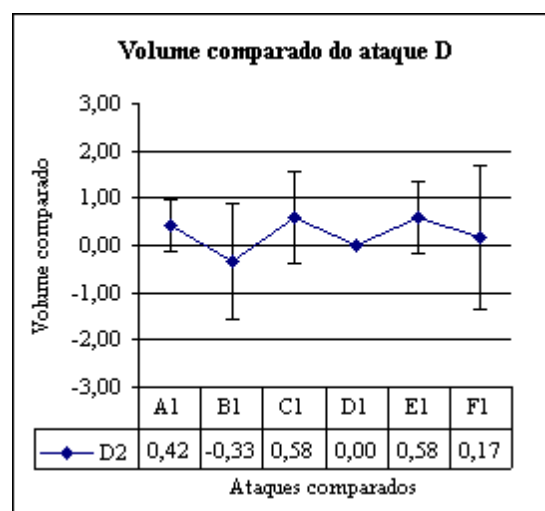
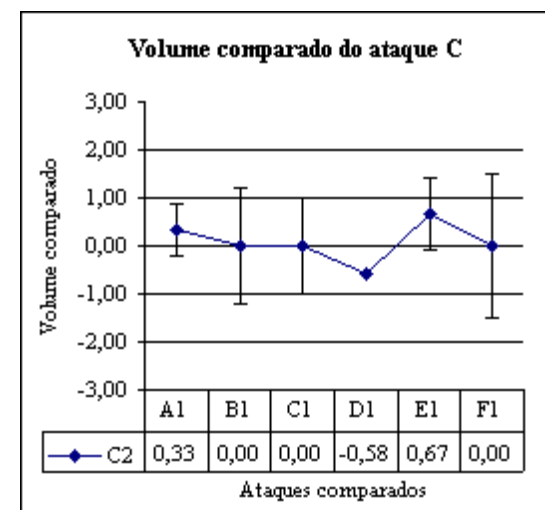
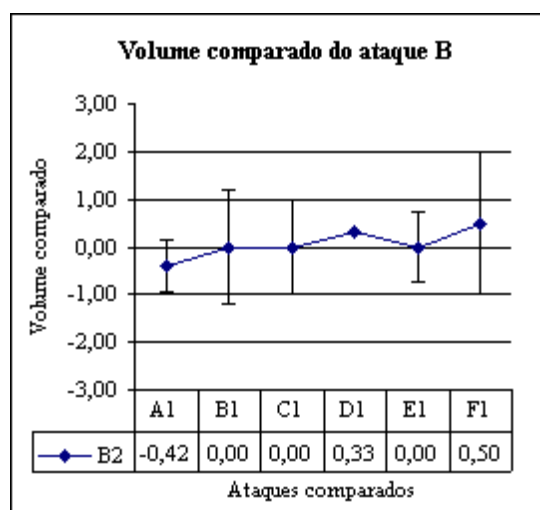
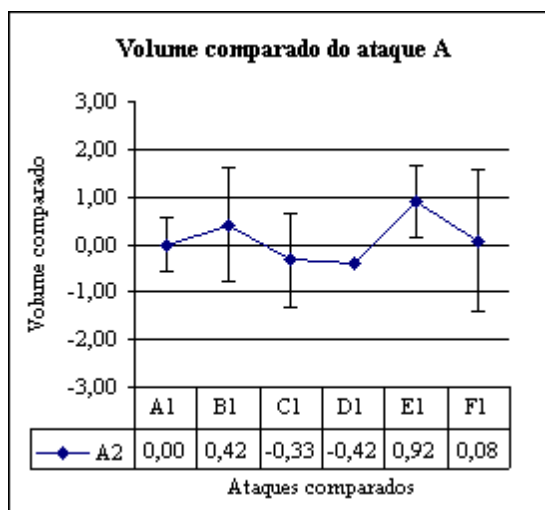
Gráficos de volume comparado dos seis tipos de ataques e desvio padrão entre sujeitos

Nota 13



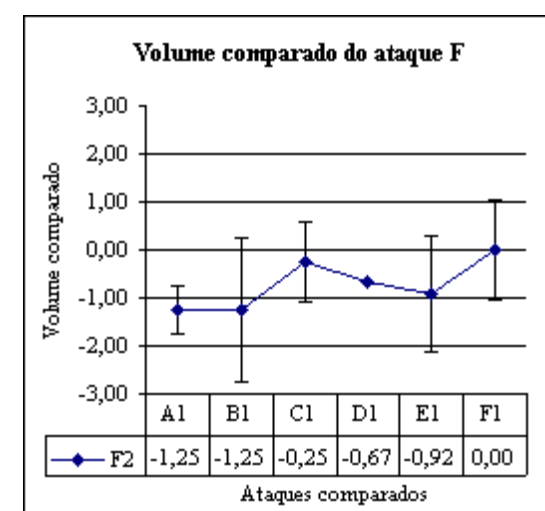
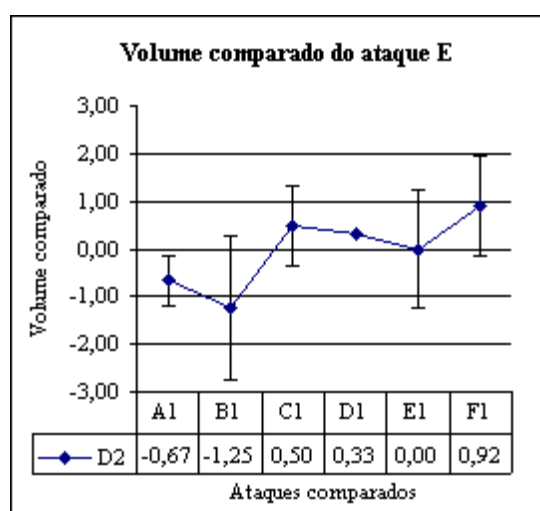
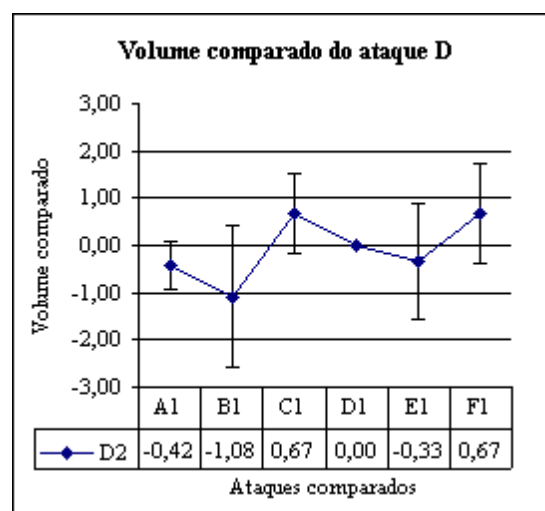
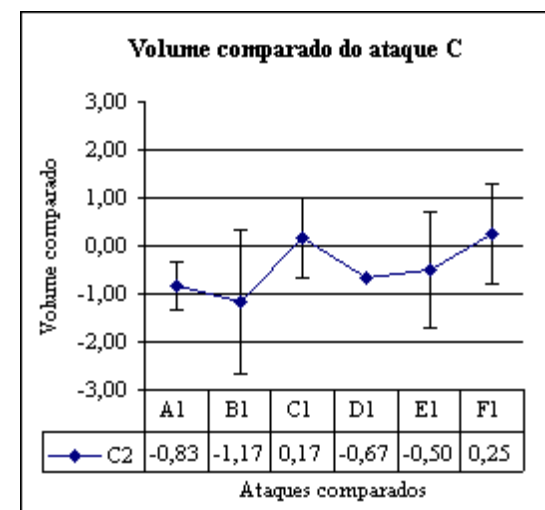
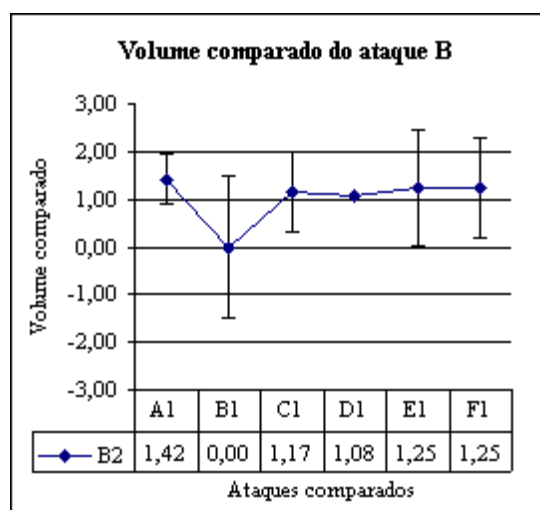
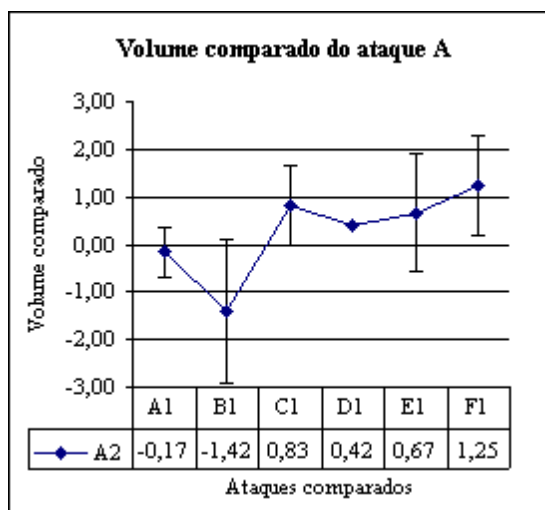
Gráficos de volume comparado dos seis tipos de ataques e desvio padrão entre sujeitos

Nota 27



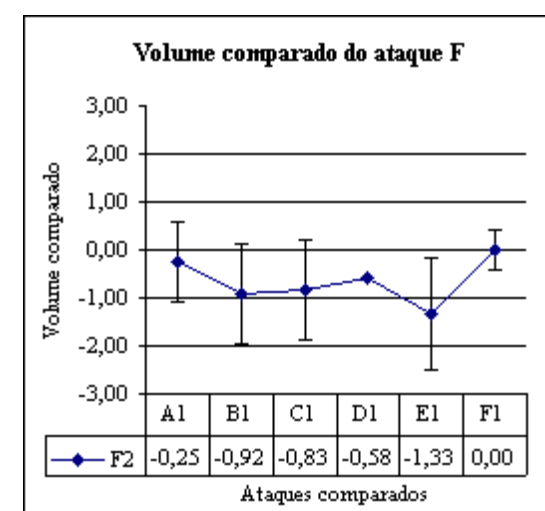
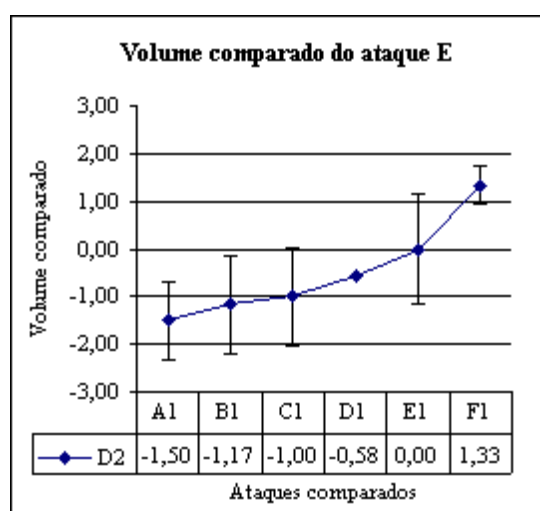
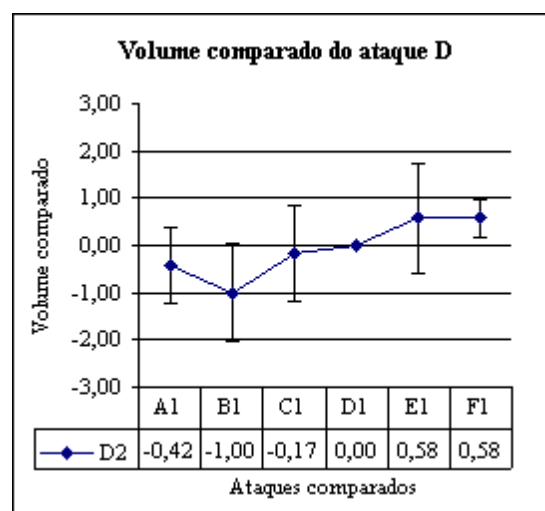
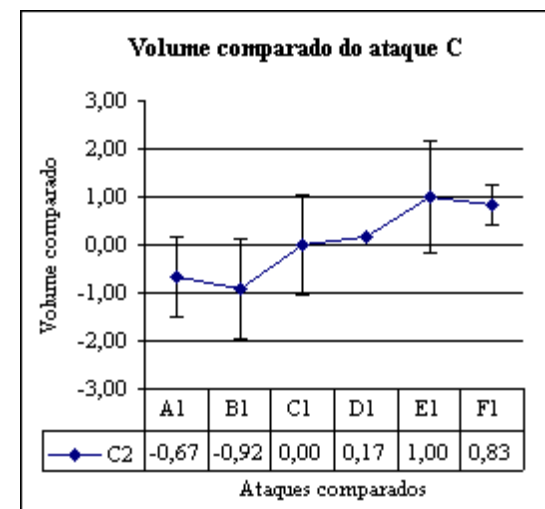
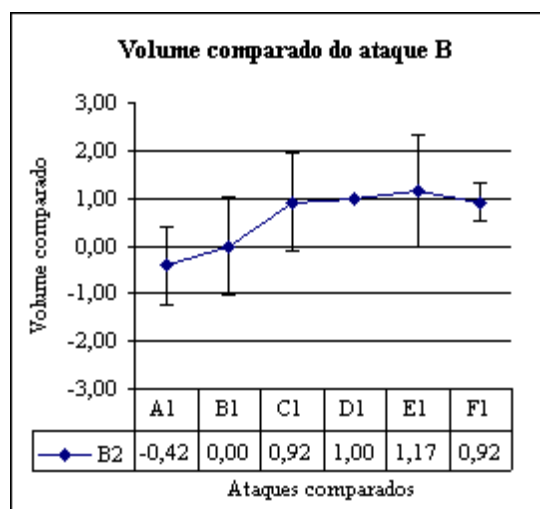
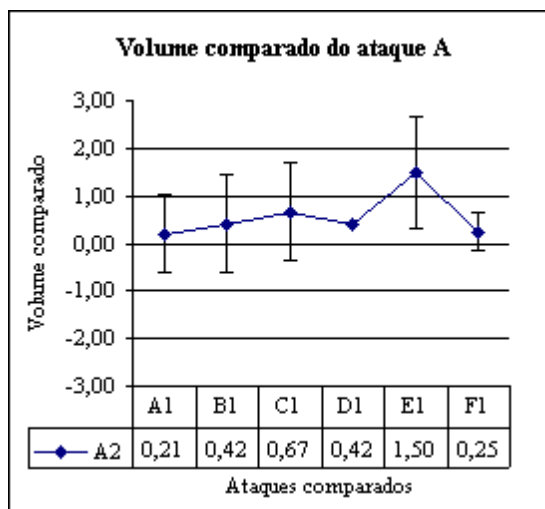
## Gráficos de volume comparado dos seis tipos de ataques e desvio padrão entre sujeitos

Nota 20



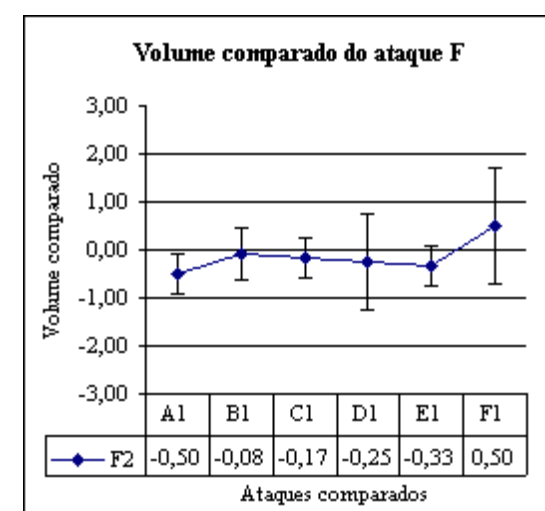
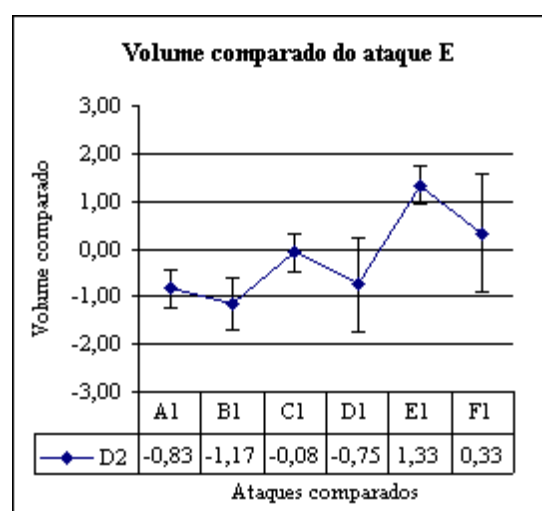
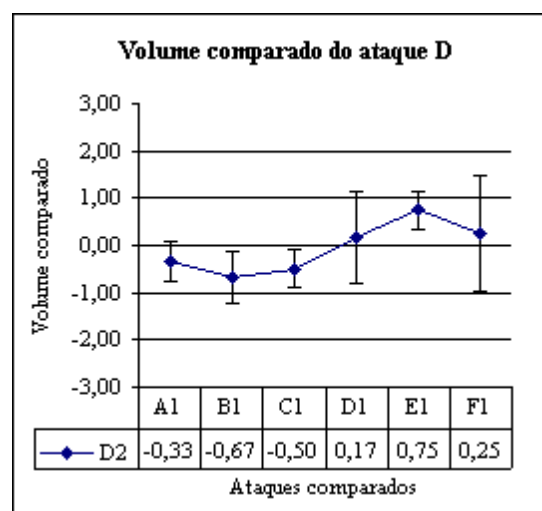
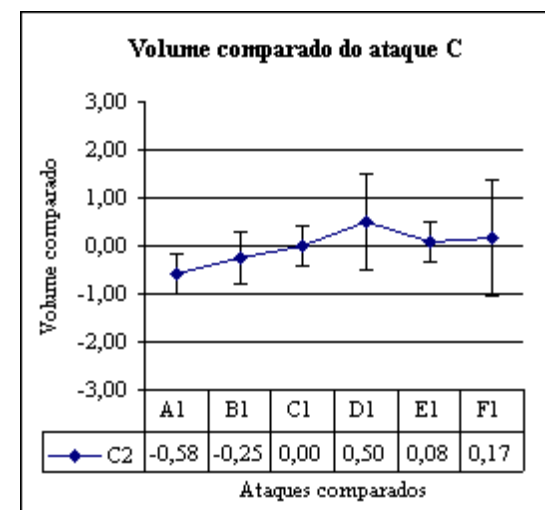
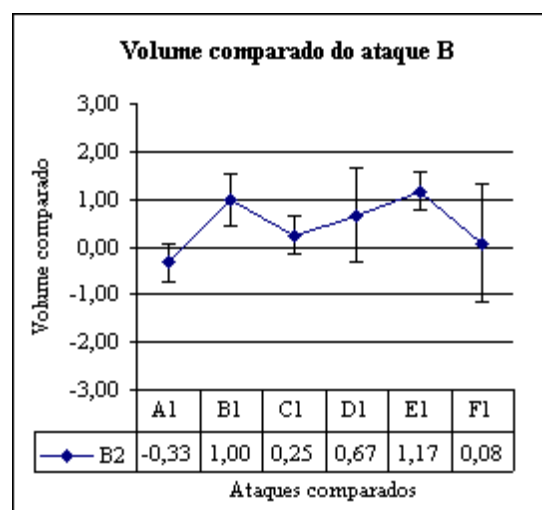
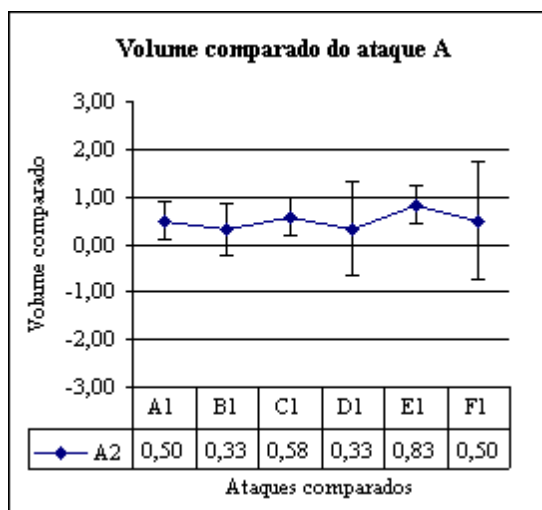
Gráficos de volume comparado dos seis tipos de ataques e desvio padrão entre sujeitos

Nota 312



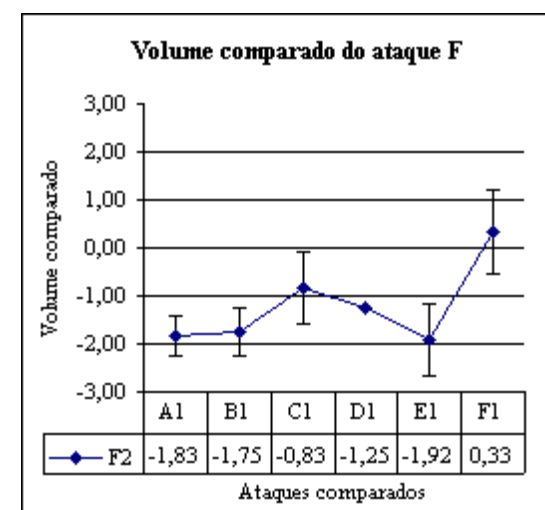
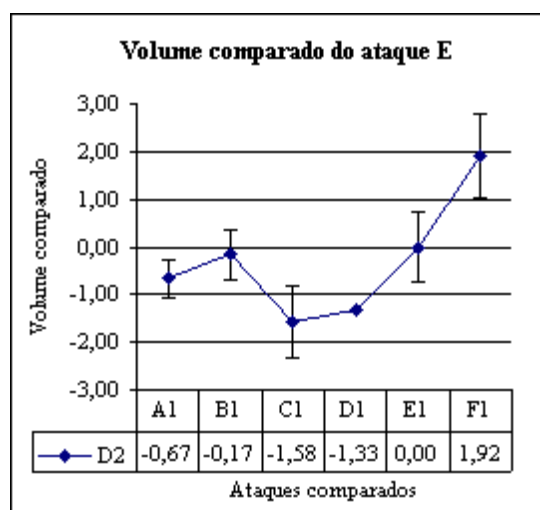
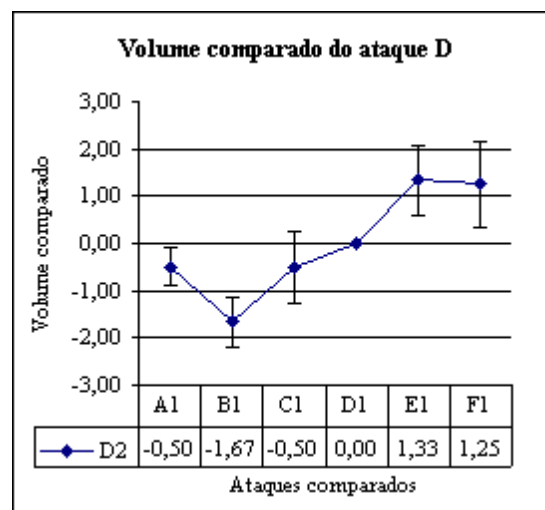
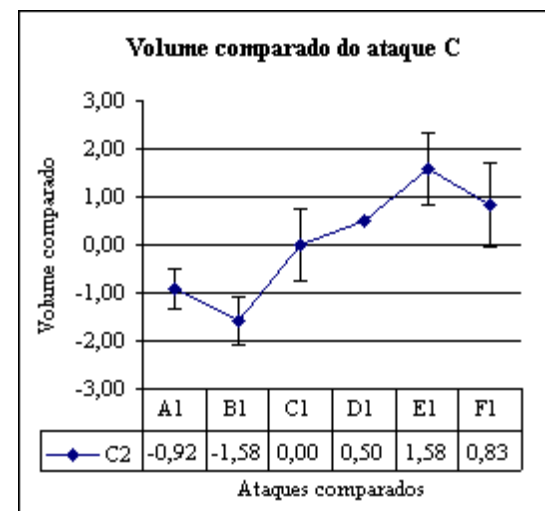
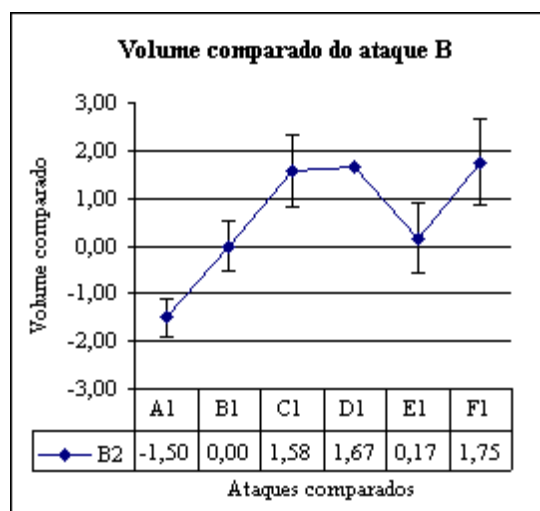
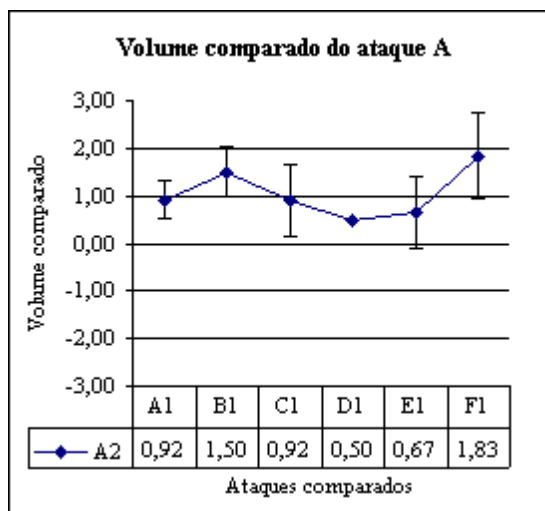
Gráficos de volume comparado dos seis tipos de ataques e desvio padrão entre sujeitos

Nota 33



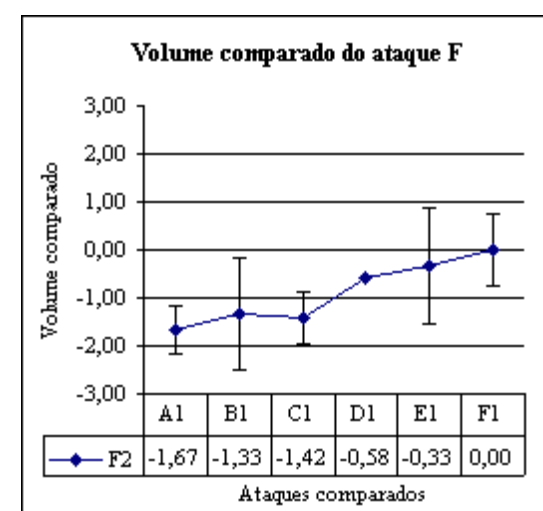
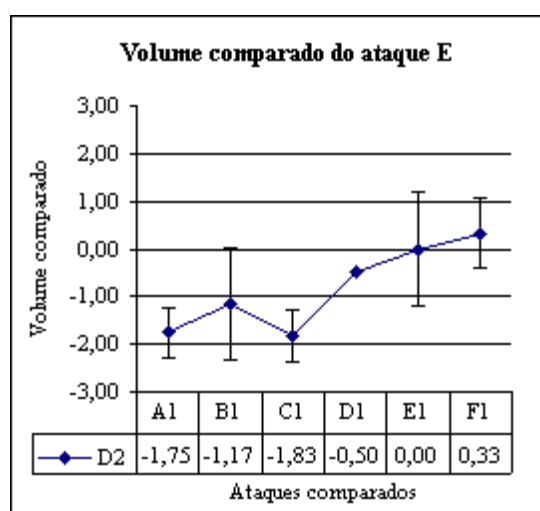
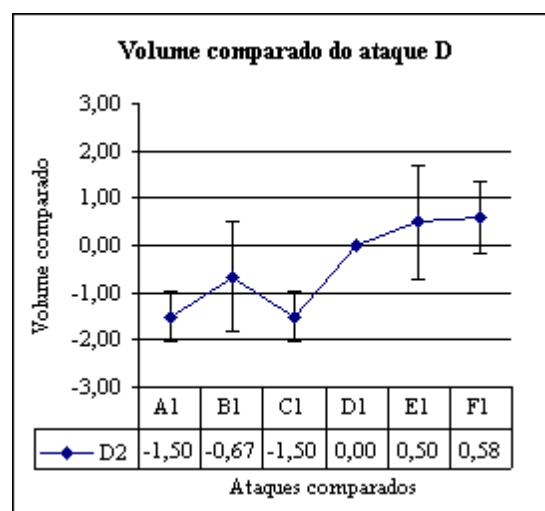
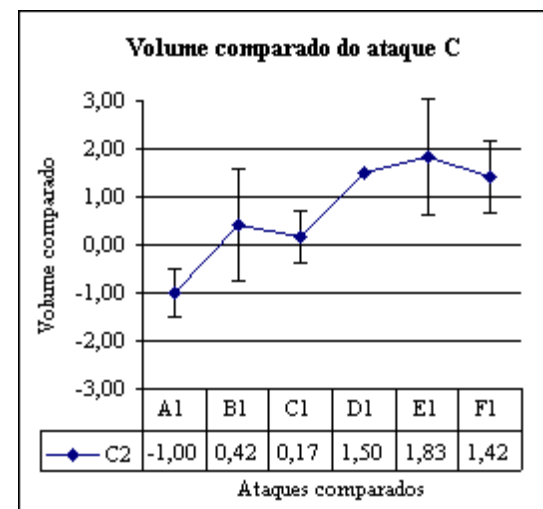
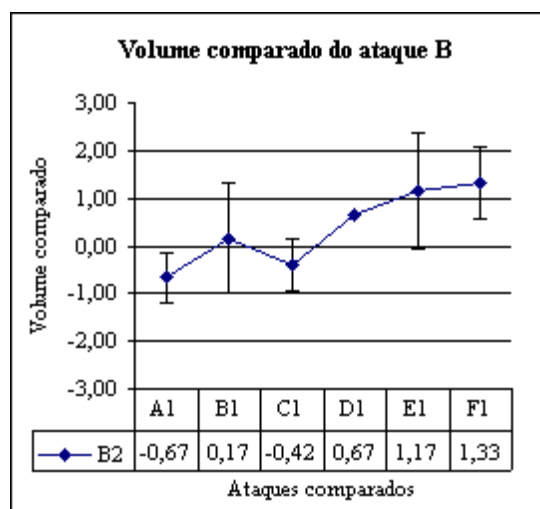
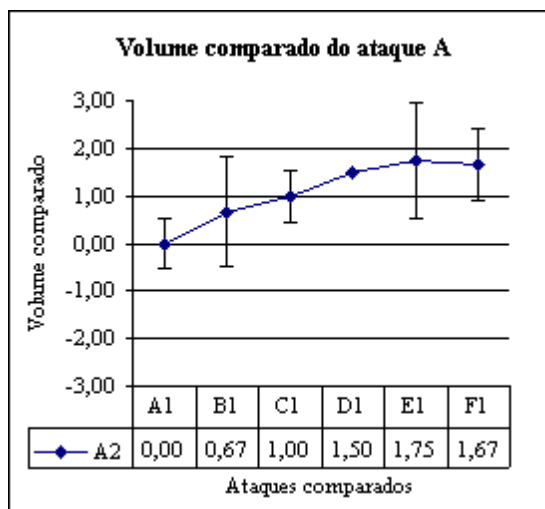
Gráficos de volume comparado dos seis tipos de ataques e desvio padrão entre sujeitos

Nota 47



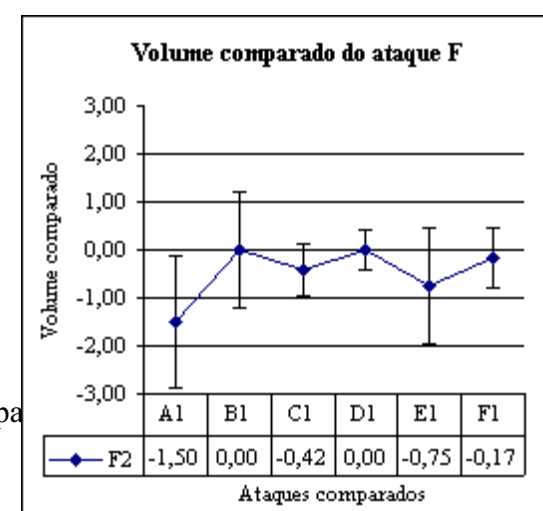
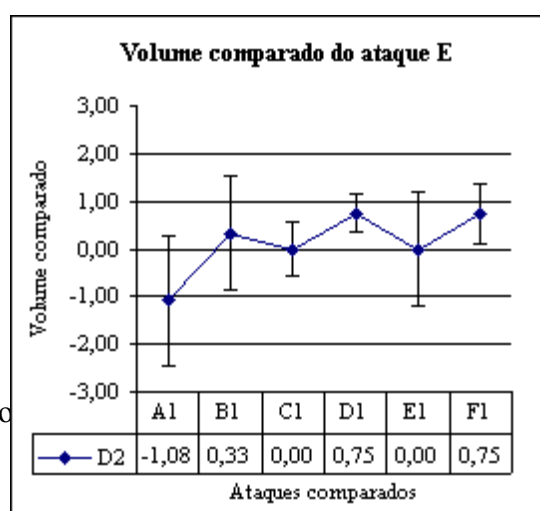
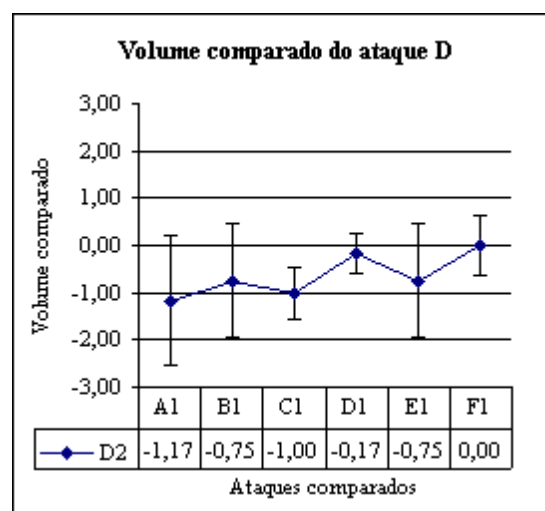
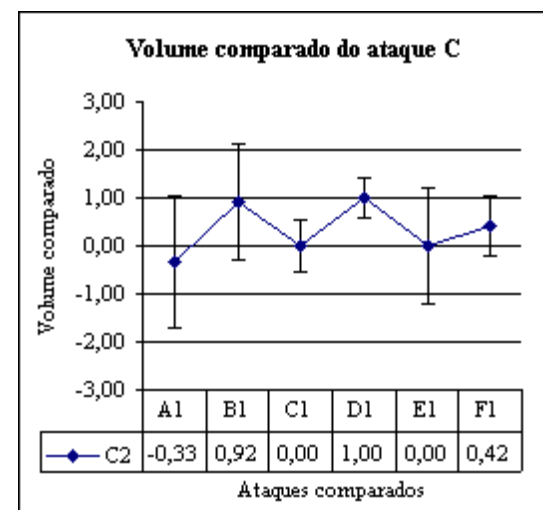
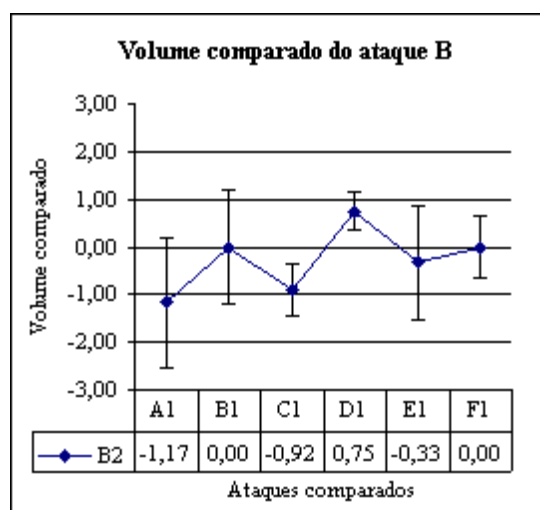
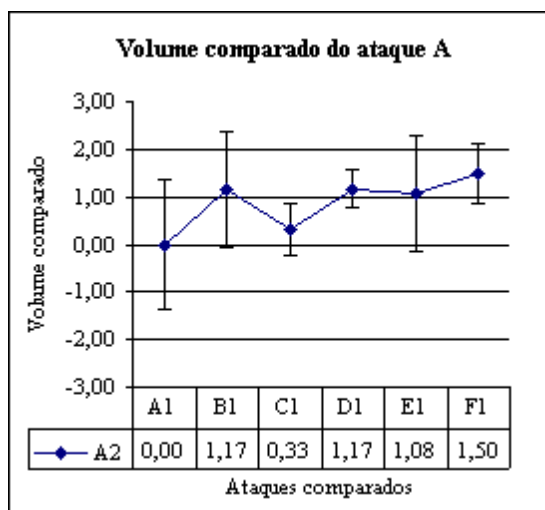
Gráficos de volume comparado dos seis tipos de ataques e desvio padrão entre sujeitos

Nota 40

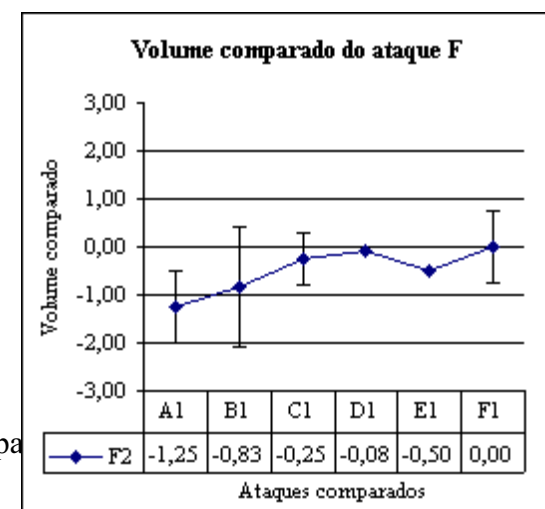
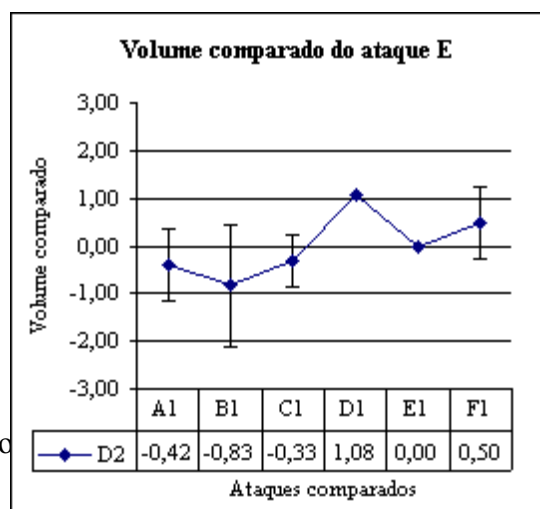
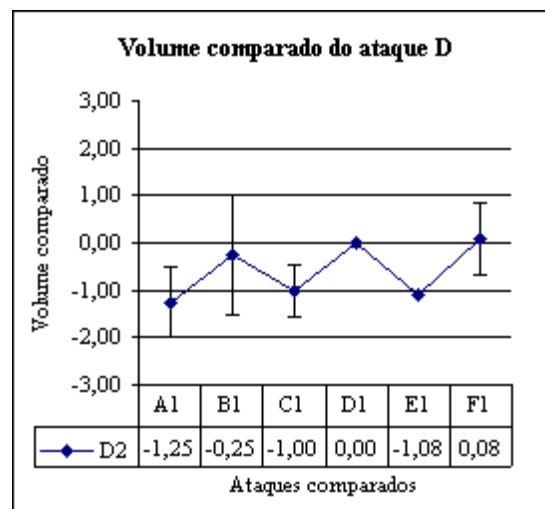
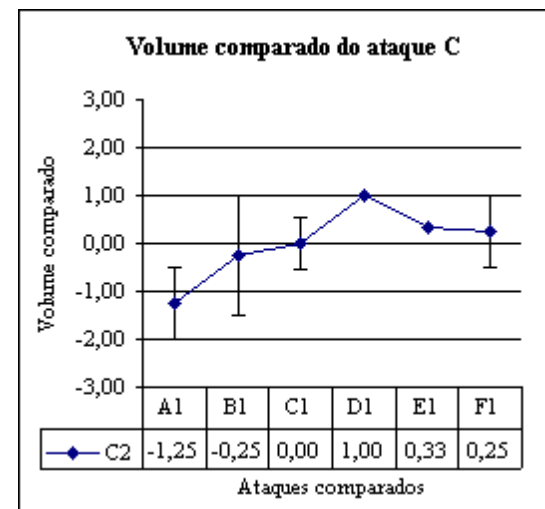
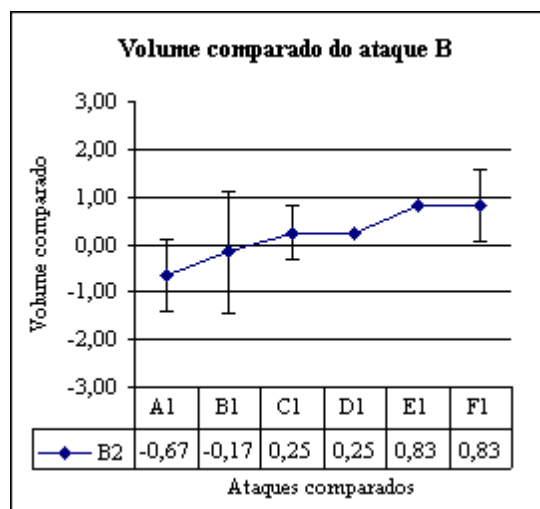
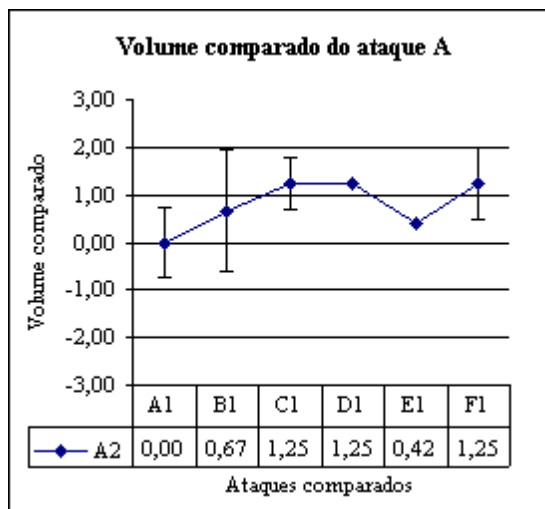


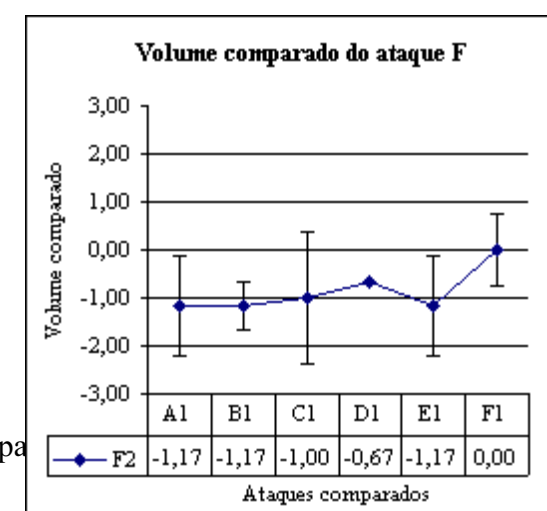
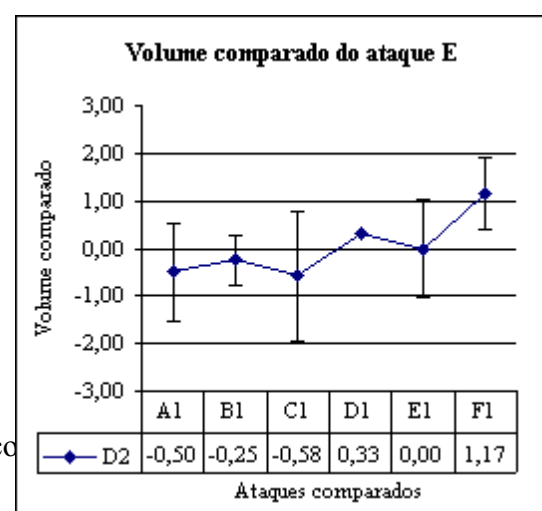
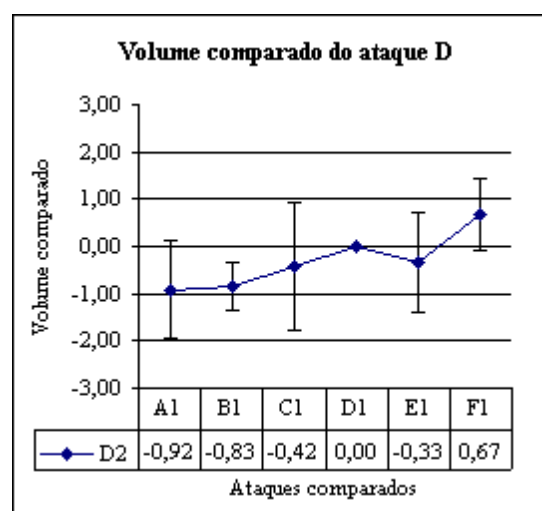
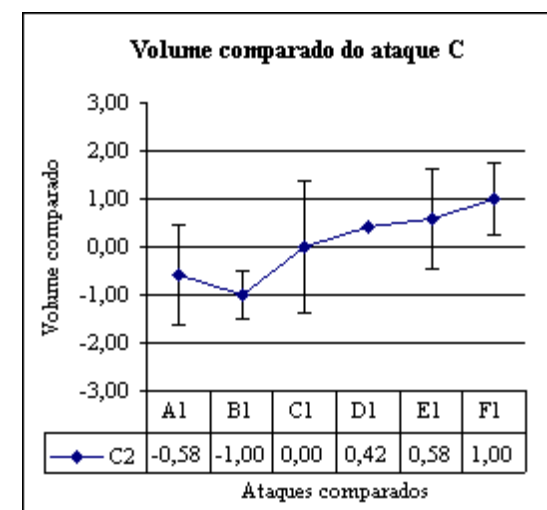
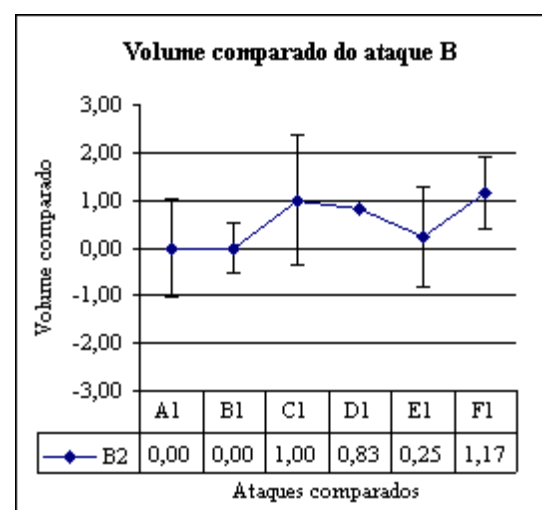
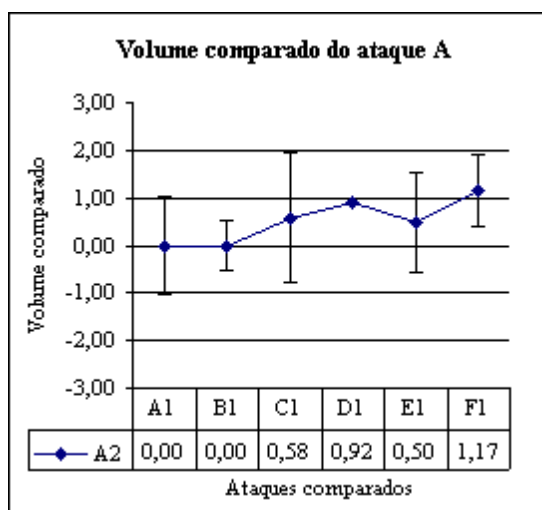
Gráficos de volume comparado dos seis tipos de ataques e desvio padrão entre sujeitos

Nota 512



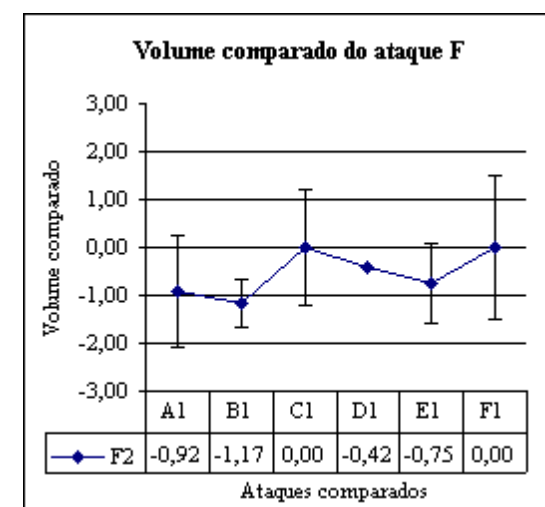
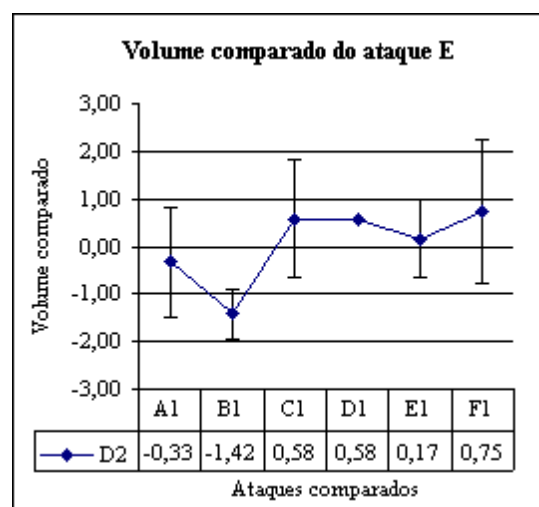
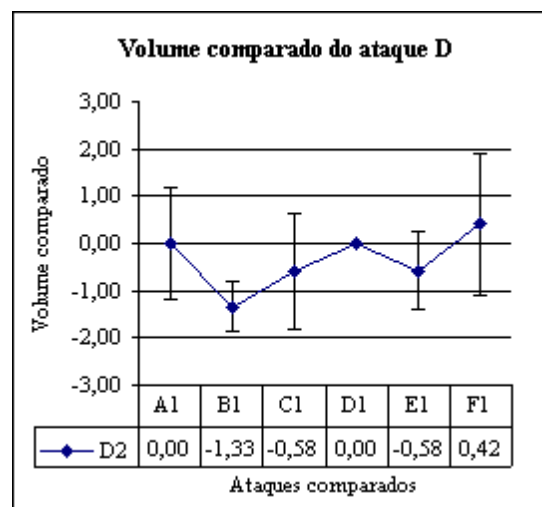
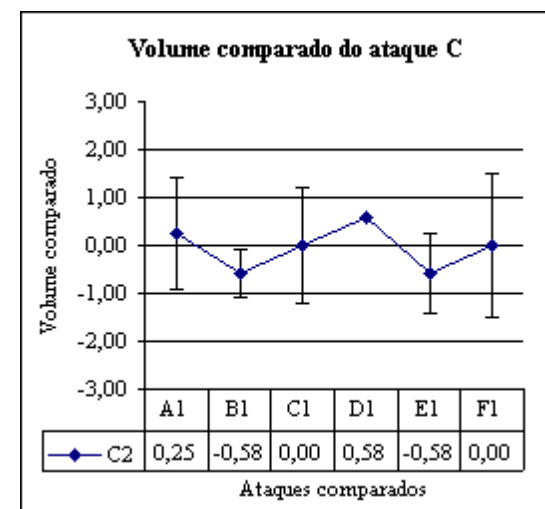
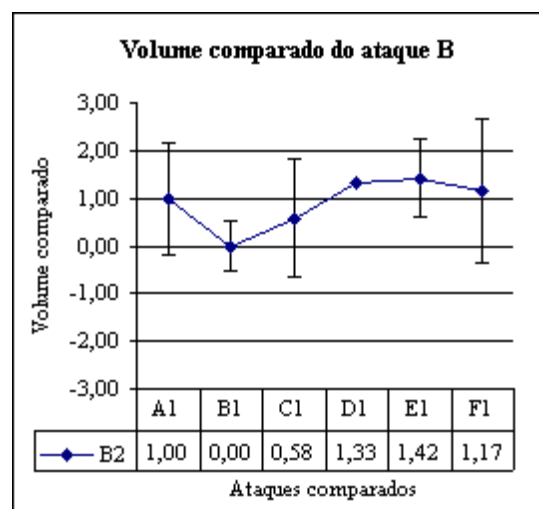
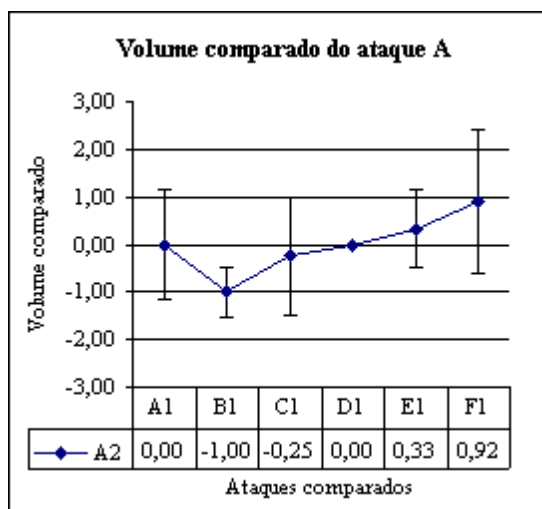
Nota 53

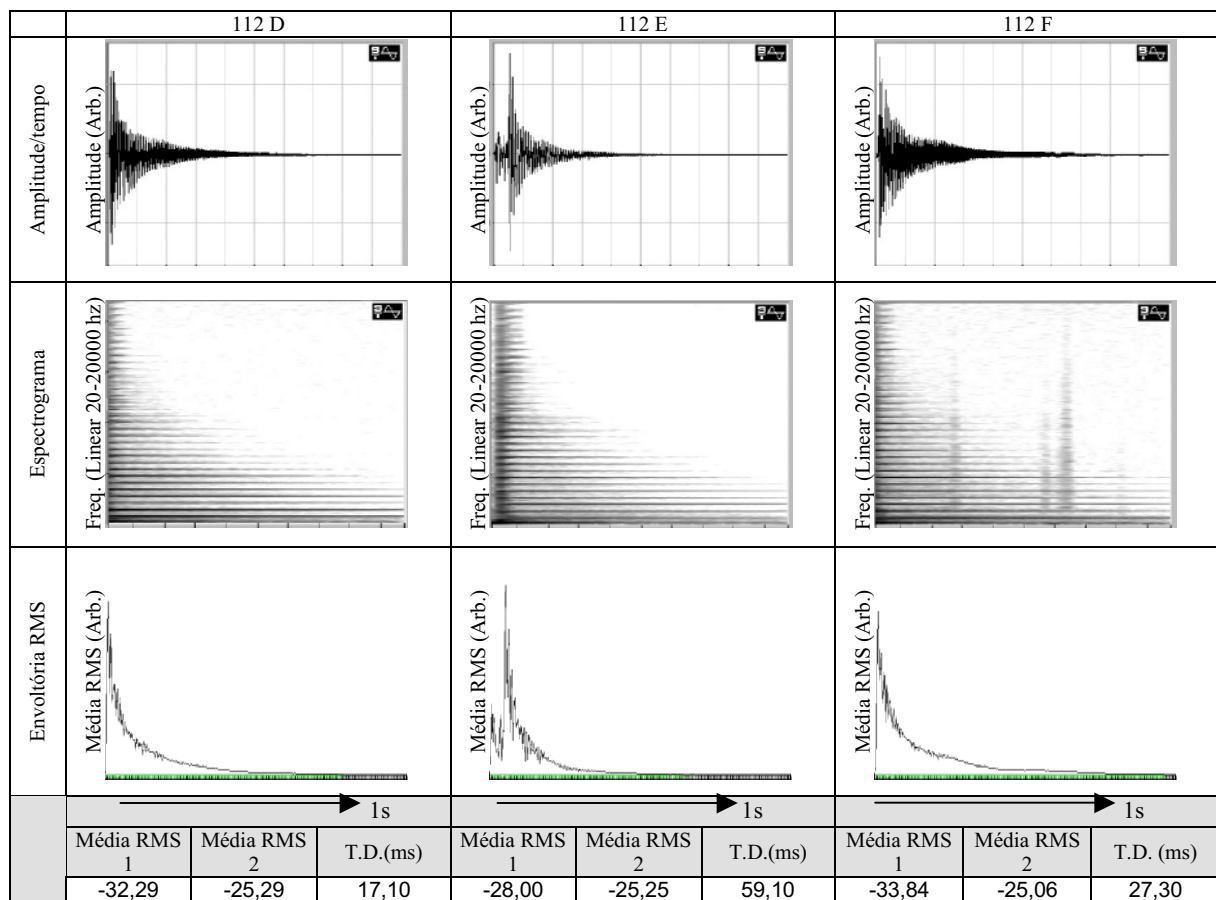
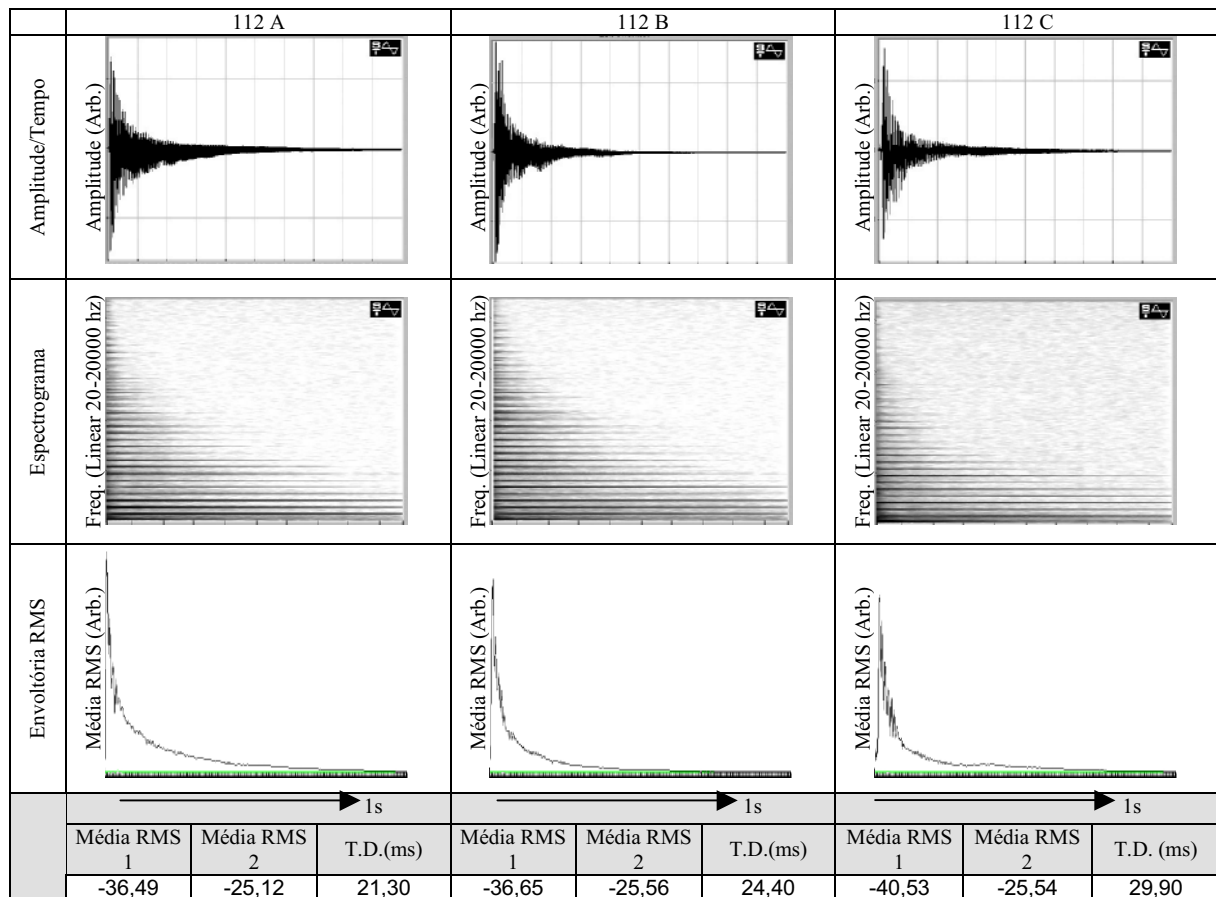


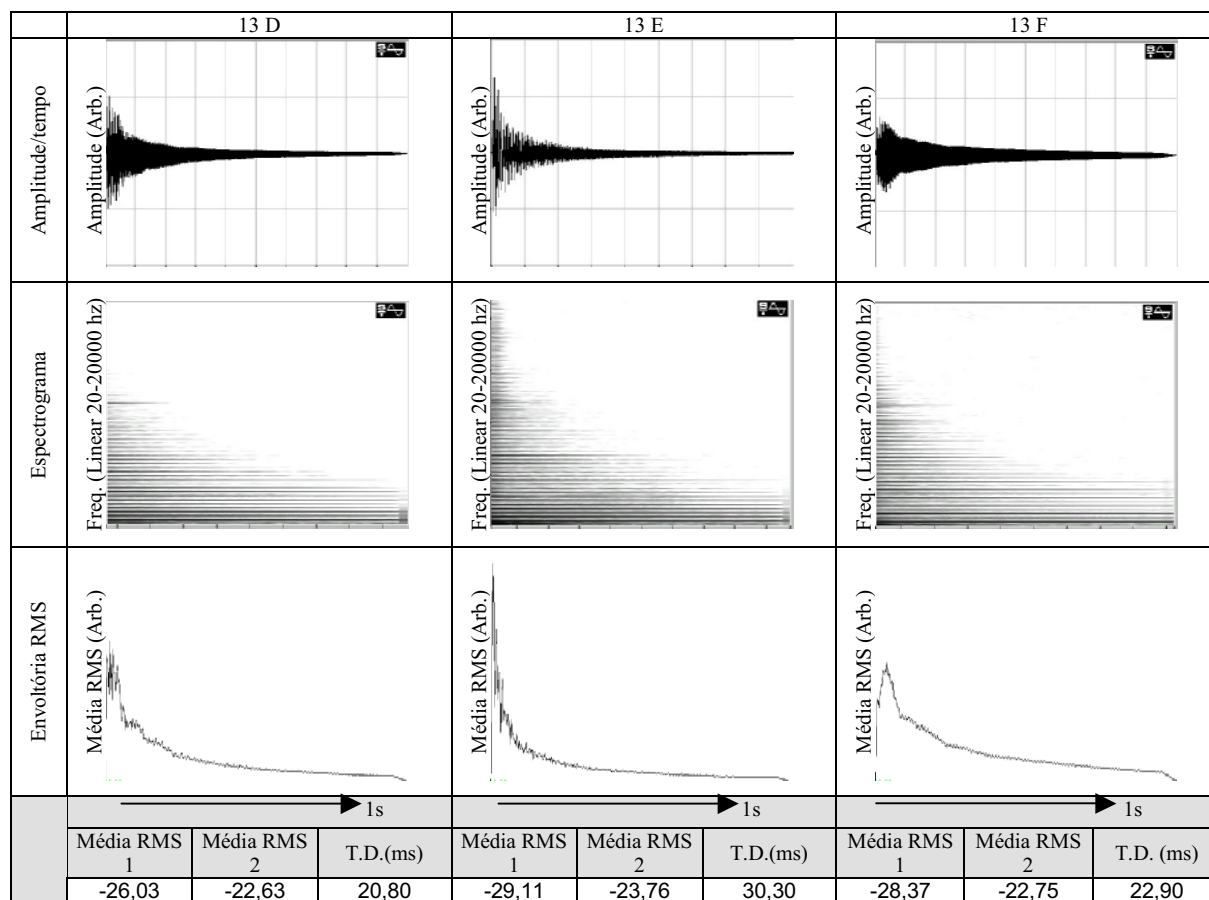
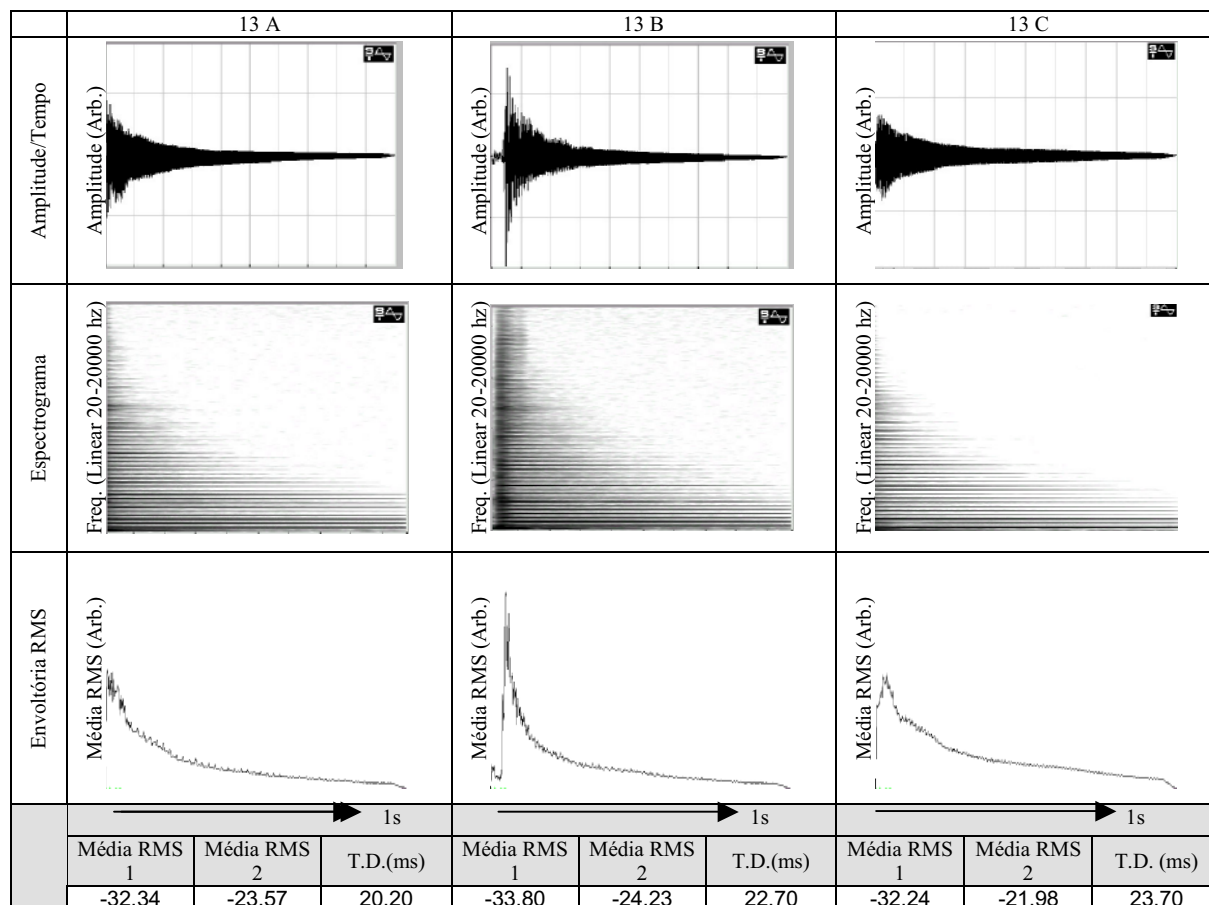


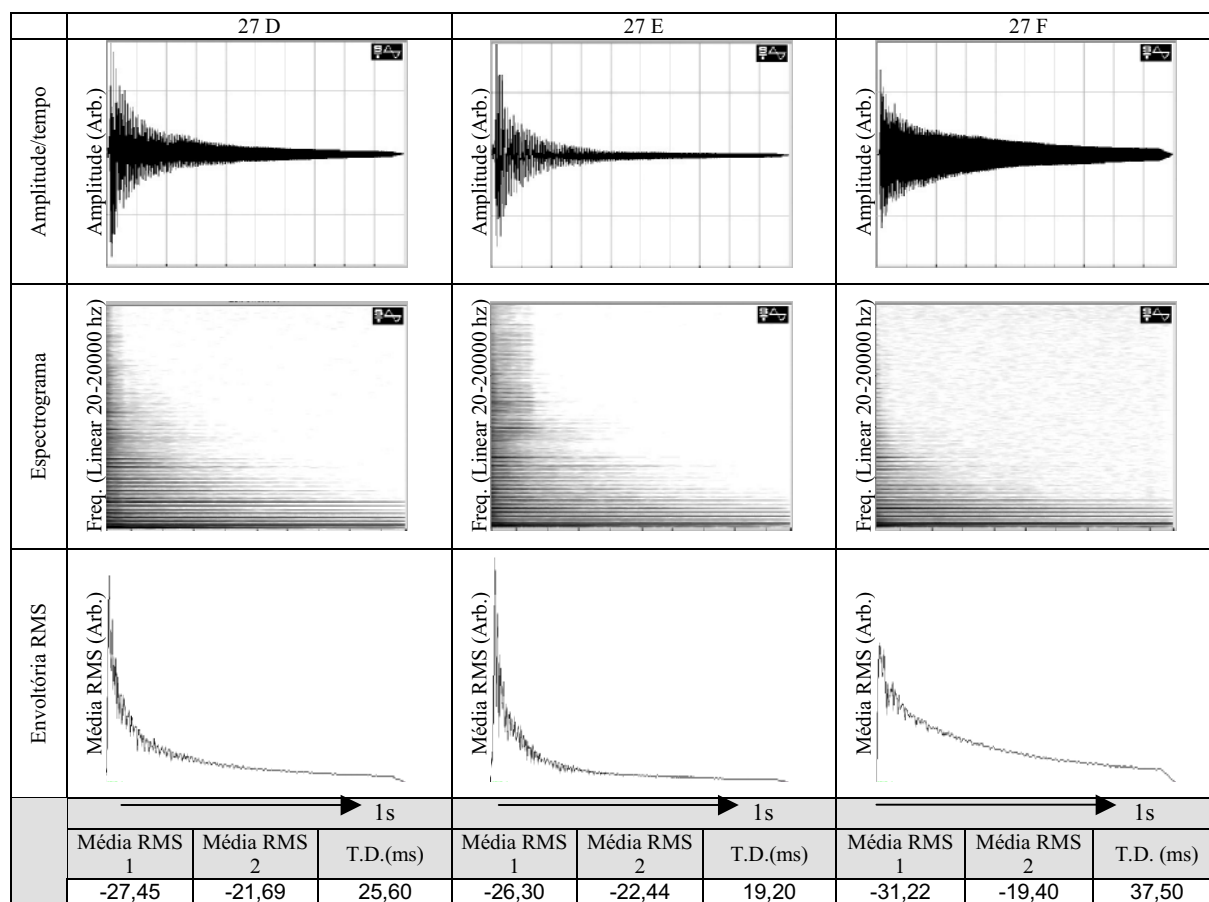
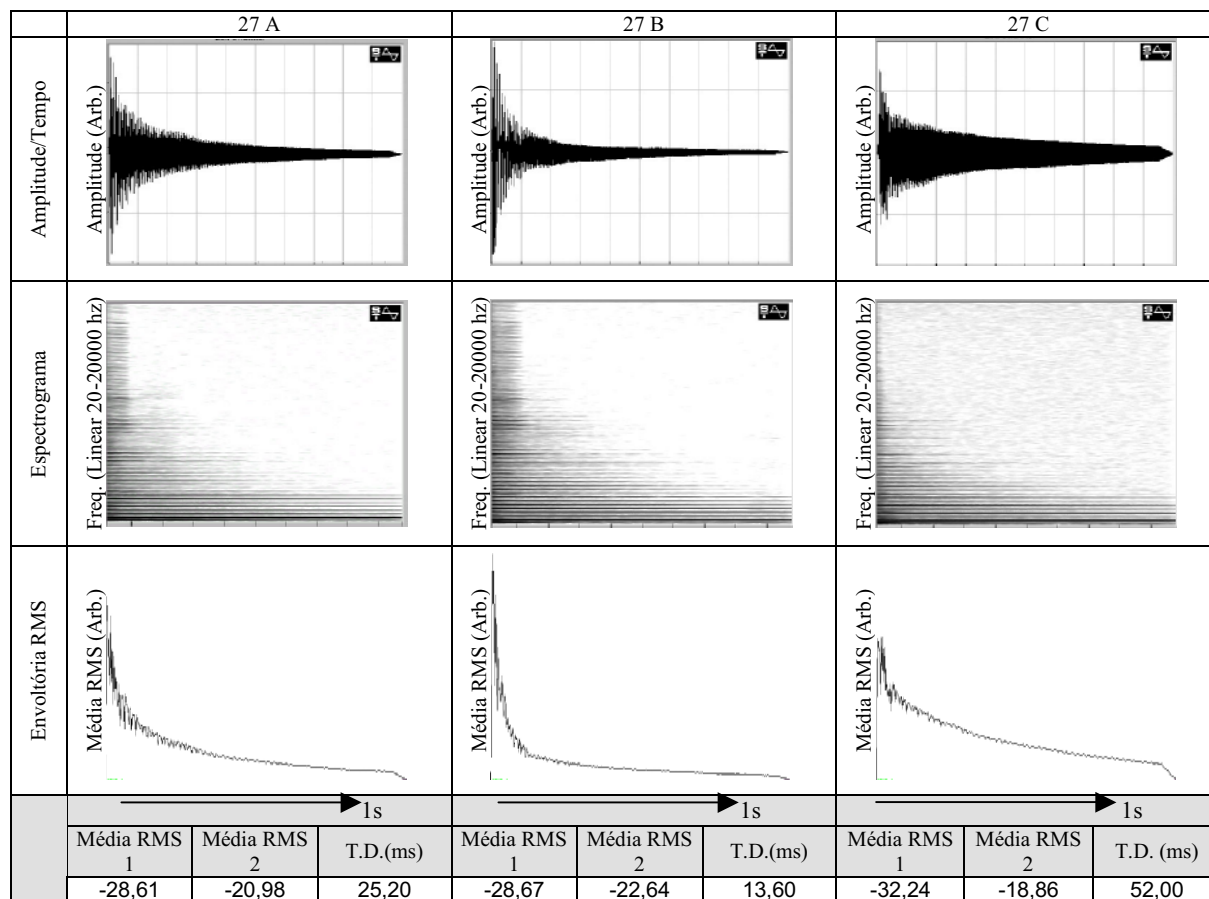
## ANEXO C

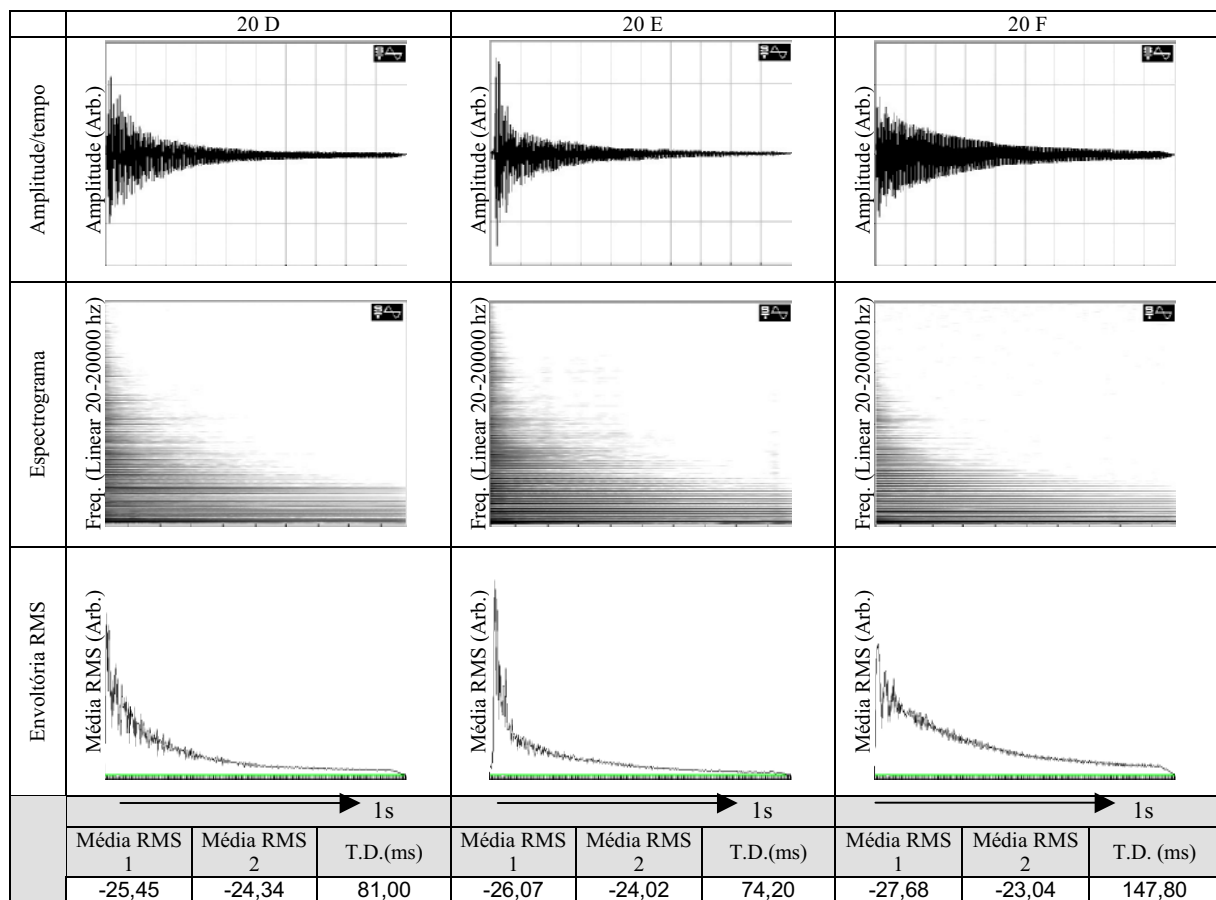
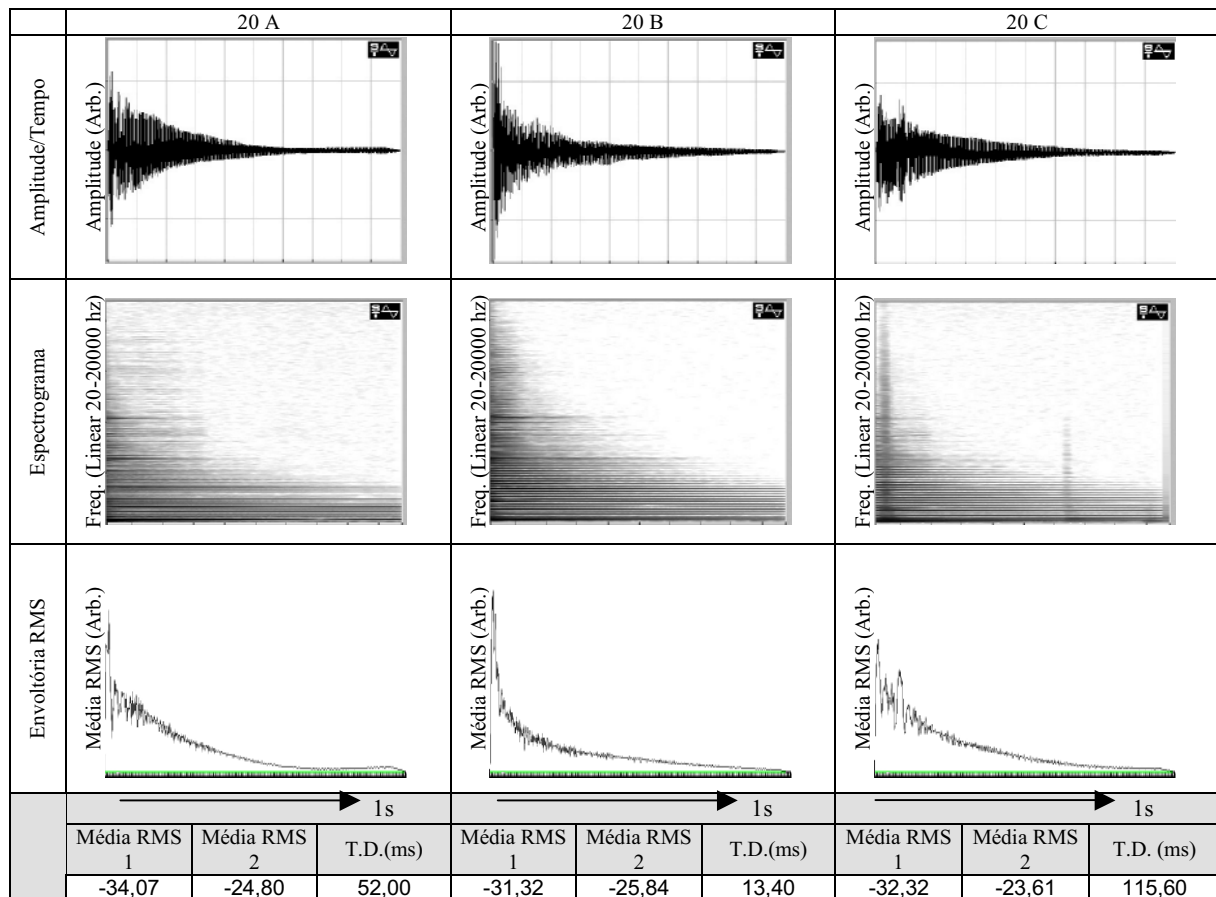
Gráficos de informações e análises das amostras.

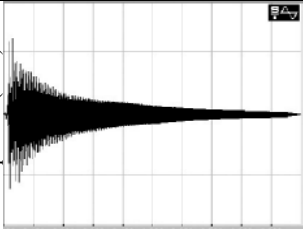
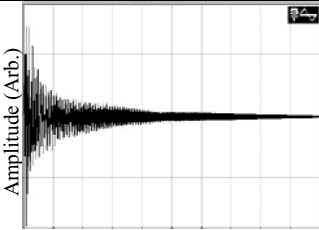
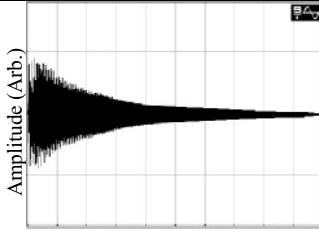



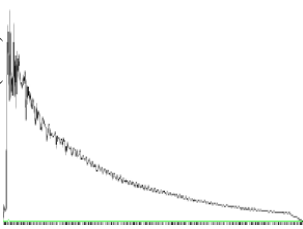
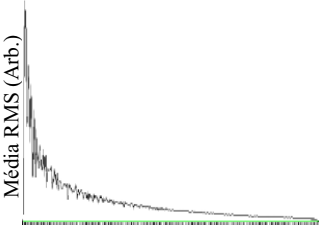
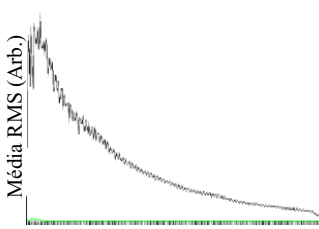




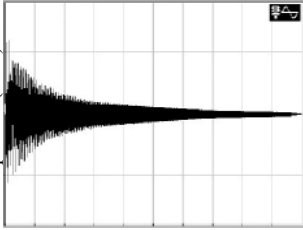
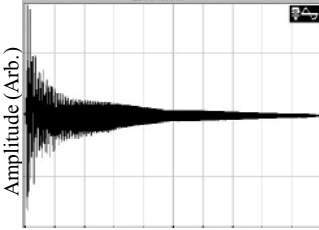
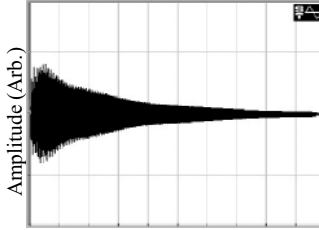



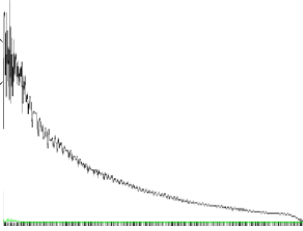
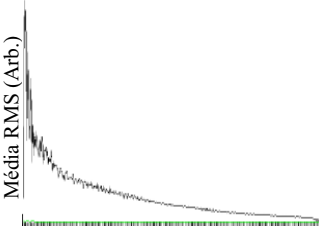
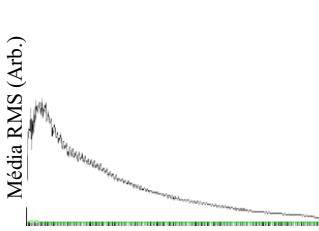


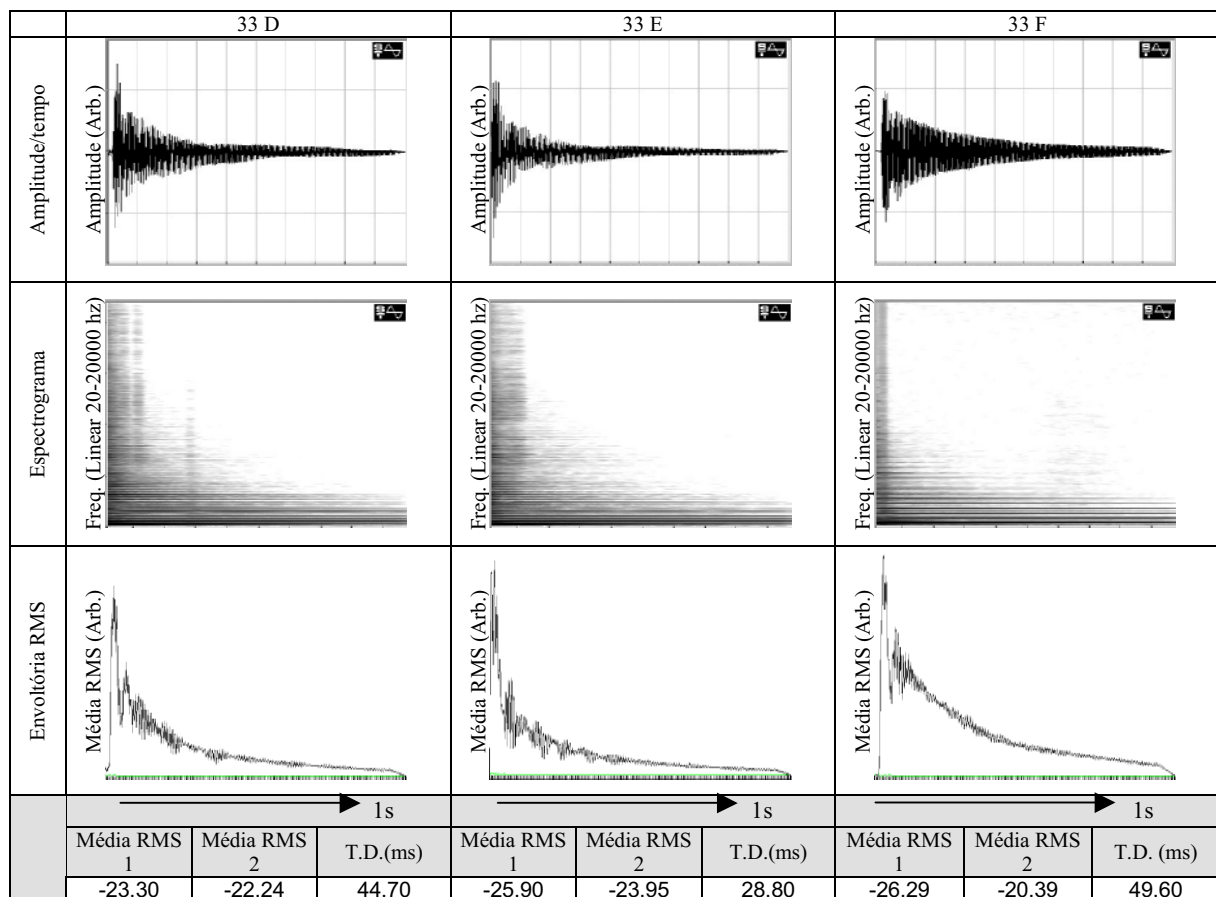
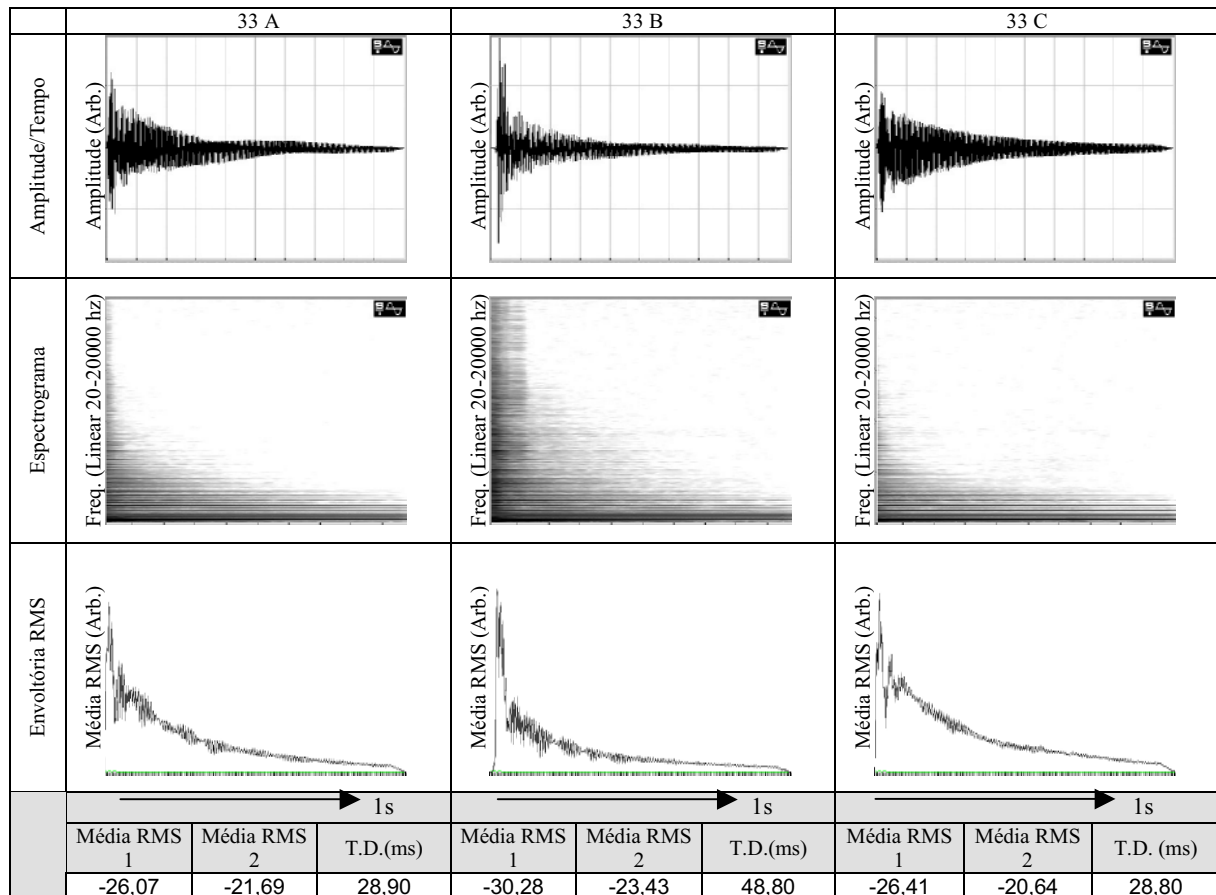


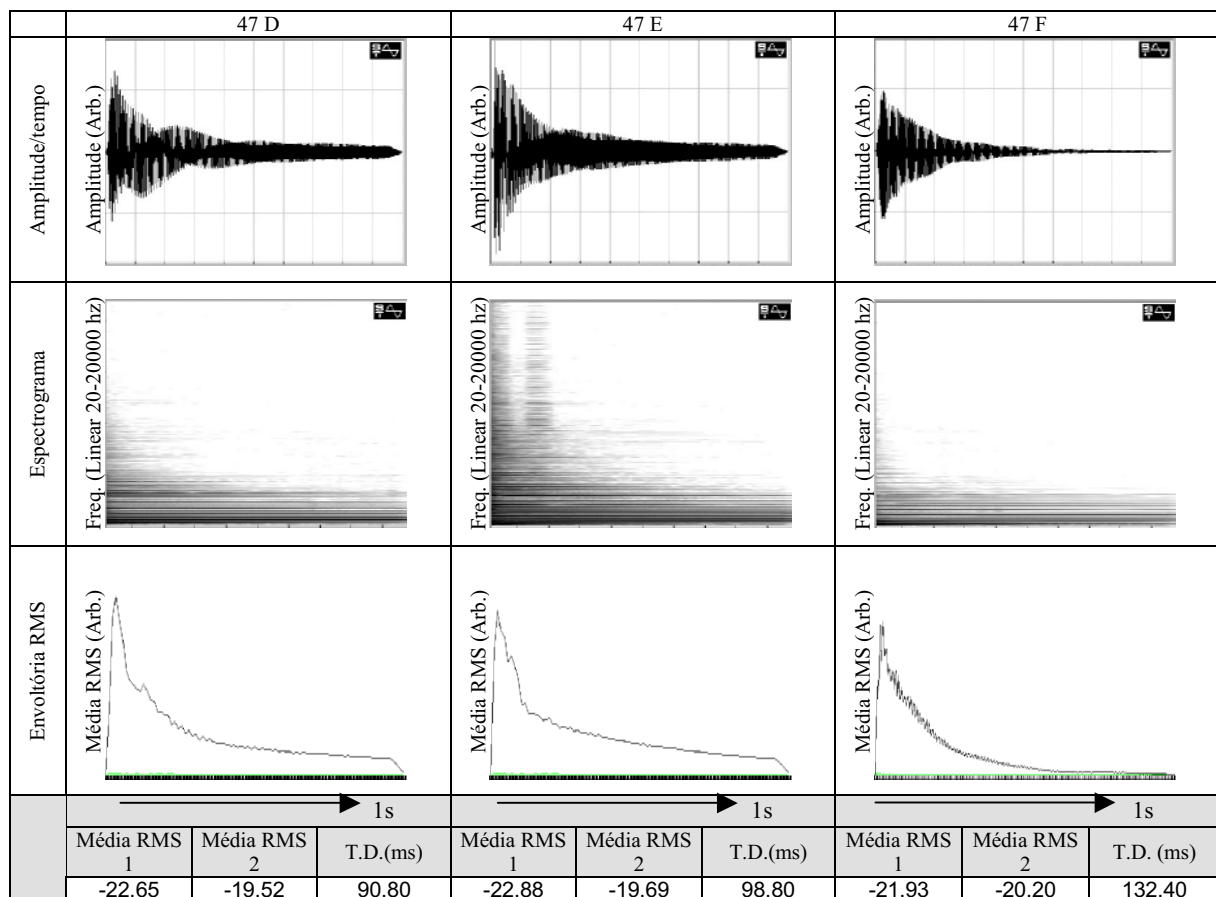
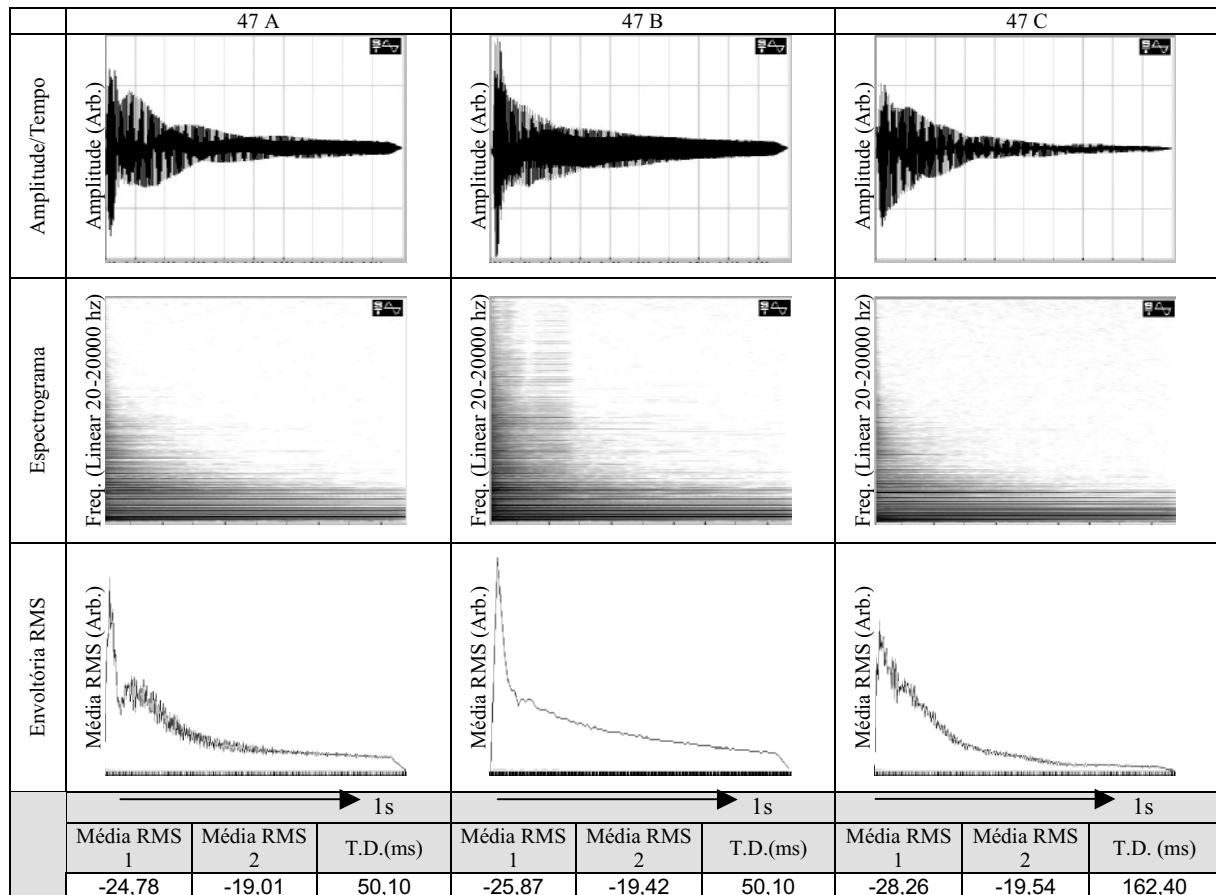


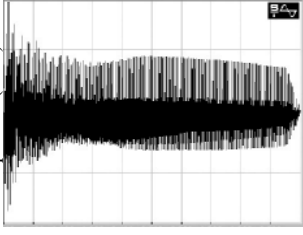
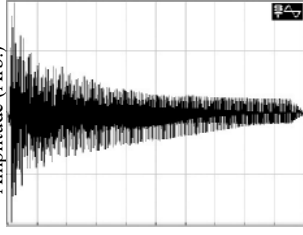
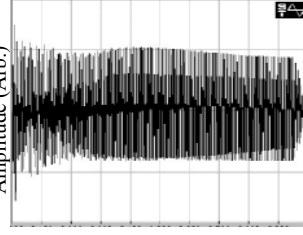
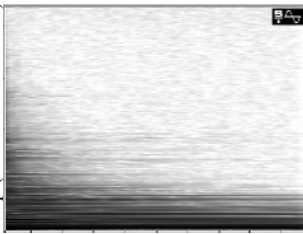
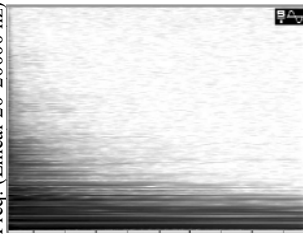
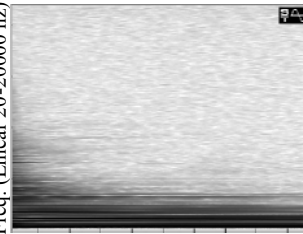
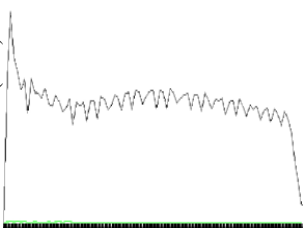
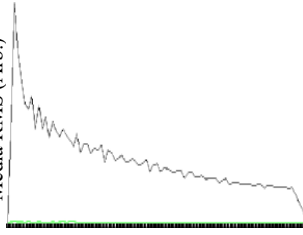
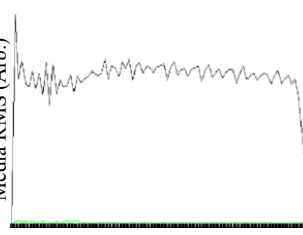
	312 A	312 B	312 C
Amplitude/Tempo			
Espectrograma			
Envoltória RMS			
	1 s	1 s	1 s
	Média RMS 1 -24,56	Média RMS 2 -20,61	T.D.(ms) 78,10
	Média RMS 1 -28,50	Média RMS 2 -22,99	T.D.(ms) 14,00
	Média RMS 1 -23,28	Média RMS 2 -20,82	T.D. (ms) 141,50

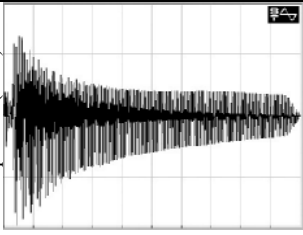
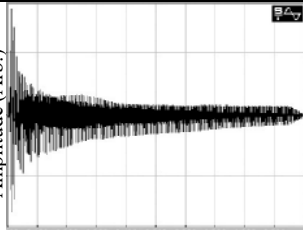
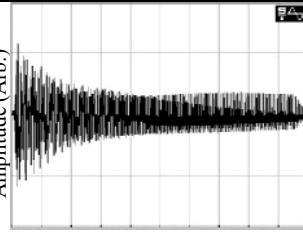


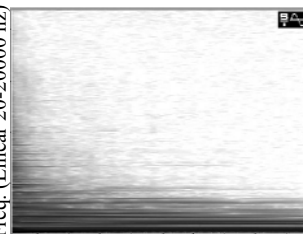
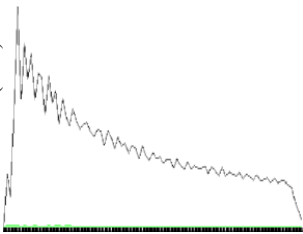
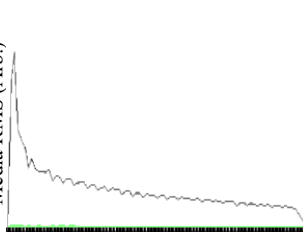
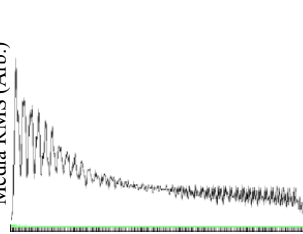
  

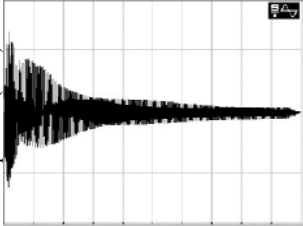
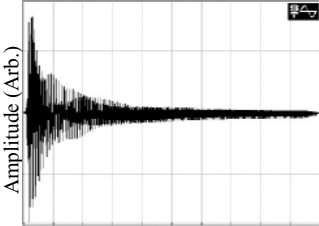
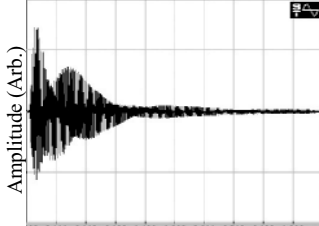
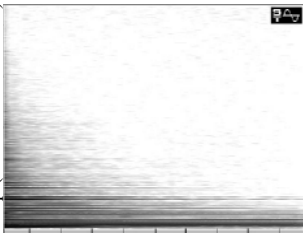
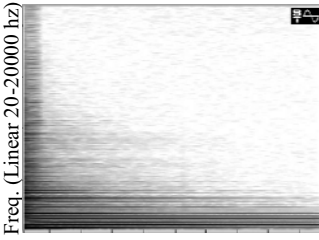
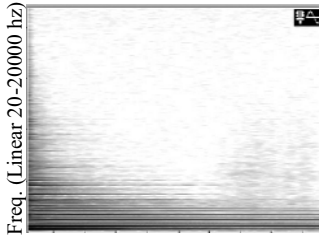
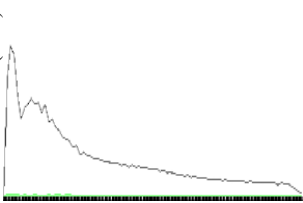
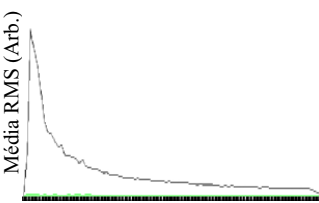
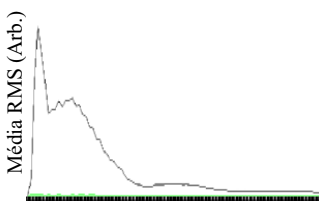
	312 D	312 E	312 F
Amplitude/tempo			
Espectrograma			
Envoltória RMS			
	1 s	1 s	1 s
	Média RMS 1 -23,02	Média RMS 2 -21,51	T.D.(ms) 66,60
	Média RMS 1 -29,03	Média RMS 2 -22,25	T.D.(ms) 13,60
	Média RMS 1 -24,07	Média RMS 2 -20,52	T.D. (ms) 170,00



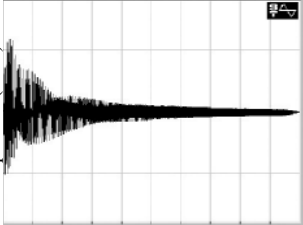
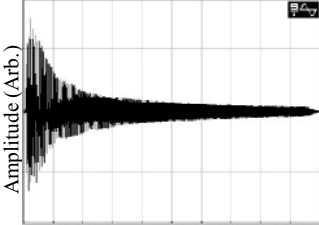
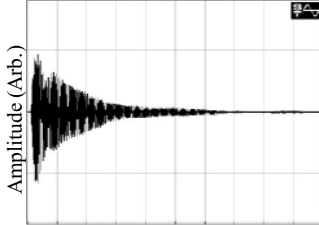
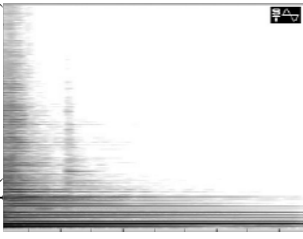
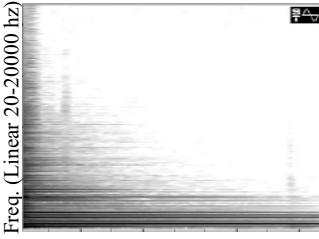
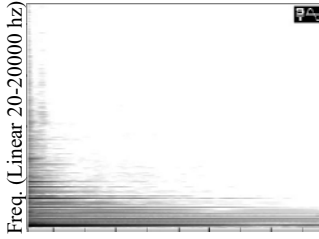
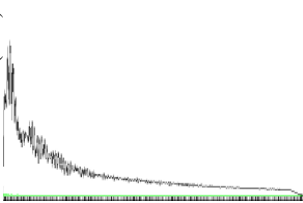
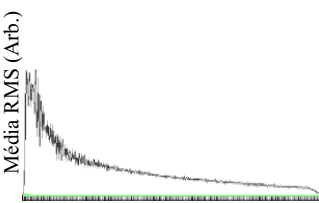
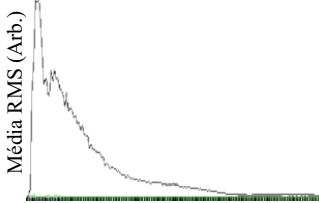


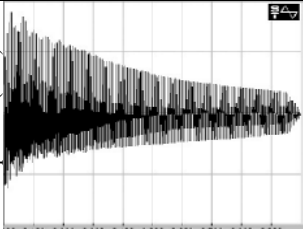
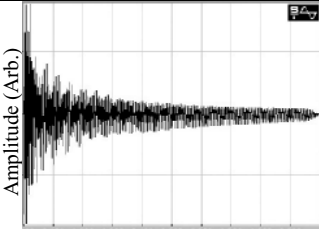
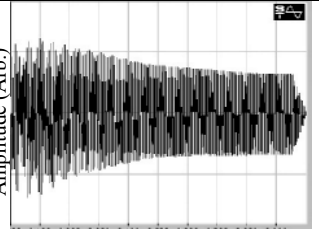
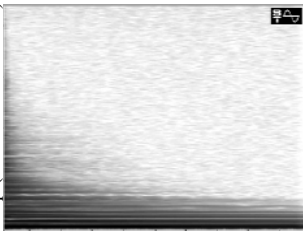
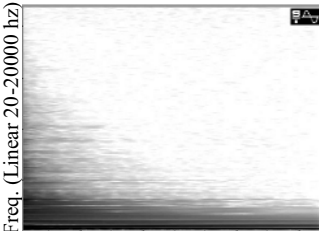
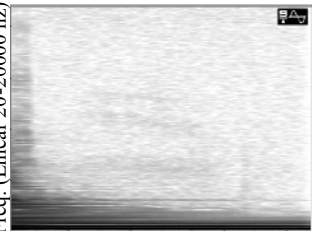
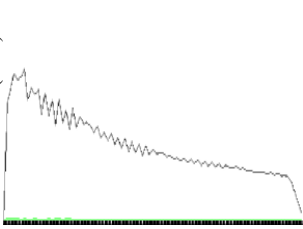
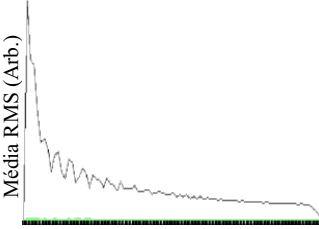
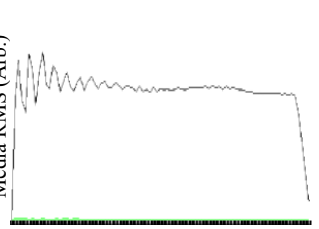
	40 A	40 B	40 C
Amplitude/Tempo			
Espectrograma			
Envoltória RMS			
	1s	1s	1s
	Média RMS 1 -27,95	Média RMS 1 -29,64	Média RMS 1 -31,85
	Média RMS 2 -14,63	Média RMS 2 -18,83	Média RMS 2 -12,60
	T.D.(ms) 79,70	T.D.(ms) 86,50	T.D. (ms) 966,20

	40 D	40 E	40 F
Amplitude/tempo			
Espectrograma			
Envoltória RMS			
	1s	1s	1s
	Média RMS 1 -20,84	Média RMS 1 -23,87	Média RMS 1 -27,60
	Média RMS 2 -15,06	Média RMS 2 -20,87	Média RMS 2 -17,81
	T.D.(ms) 138,90	T.D.(ms) 44,40	T.D. (ms) 159,70

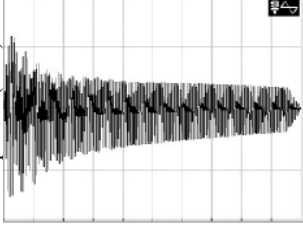
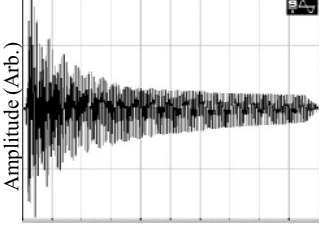
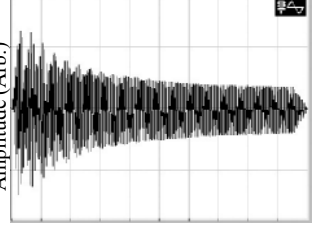
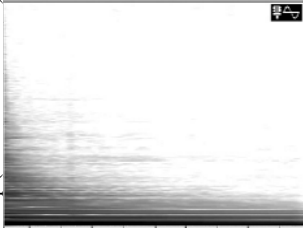
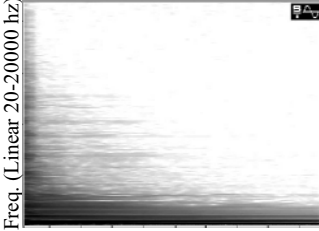
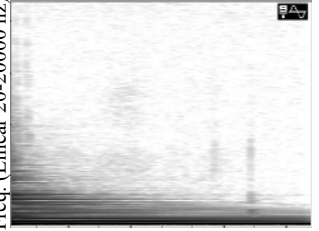
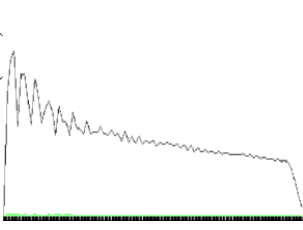
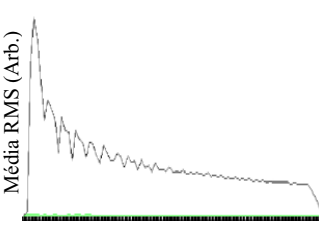
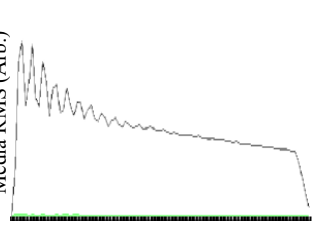
	512 A			512 B			512 C		
Amplitude/Tempo									
Espectrograma									
Envoltória RMS									
	1 s			1 s			1 s		
	Média RMS 1	Média RMS 2	T.D.(ms)	Média RMS 1	Média RMS 2	T.D.(ms)	Média RMS 1	Média RMS 2	T.D. (ms)
	-27,78	-20,15	150,00	-32,17	-22,30	66,20	-29,05	-20,24	68,60

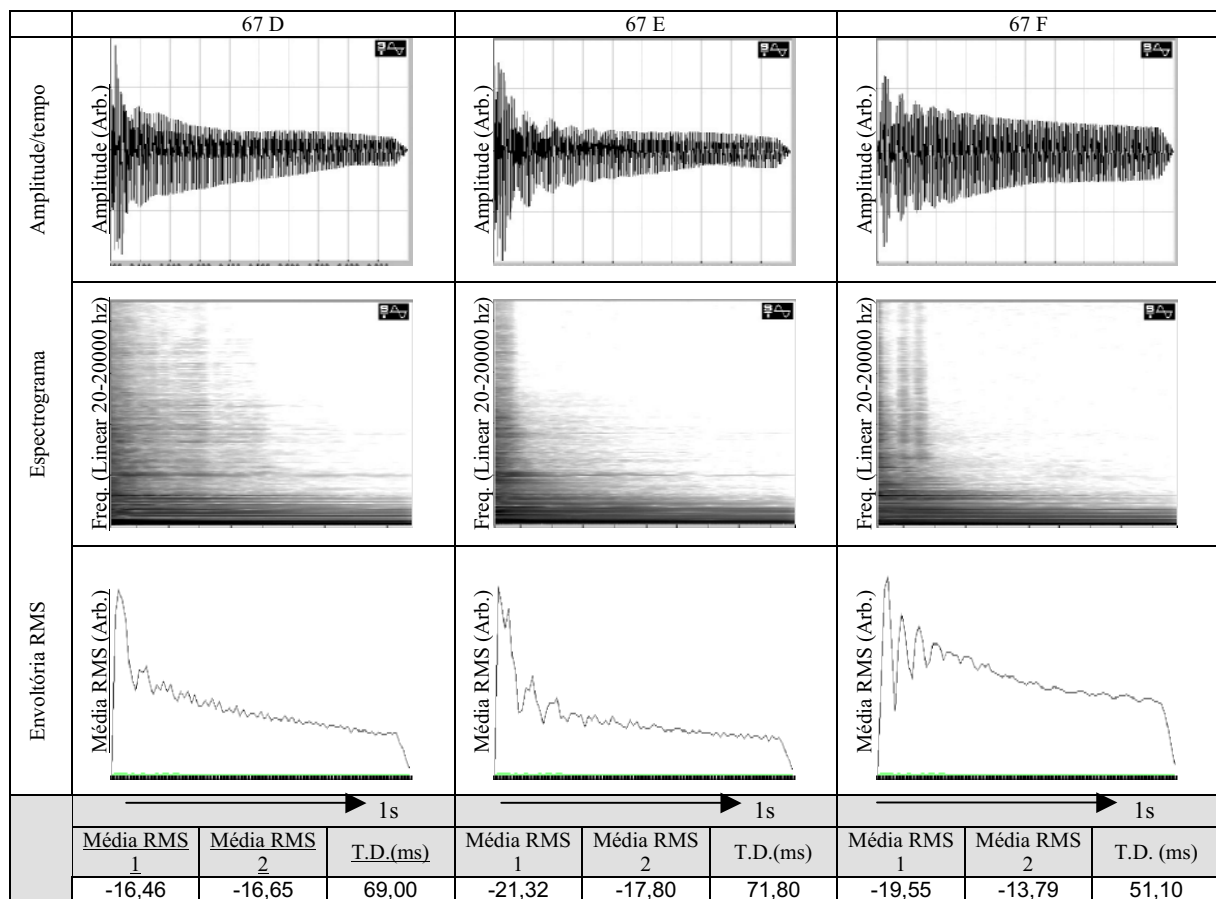
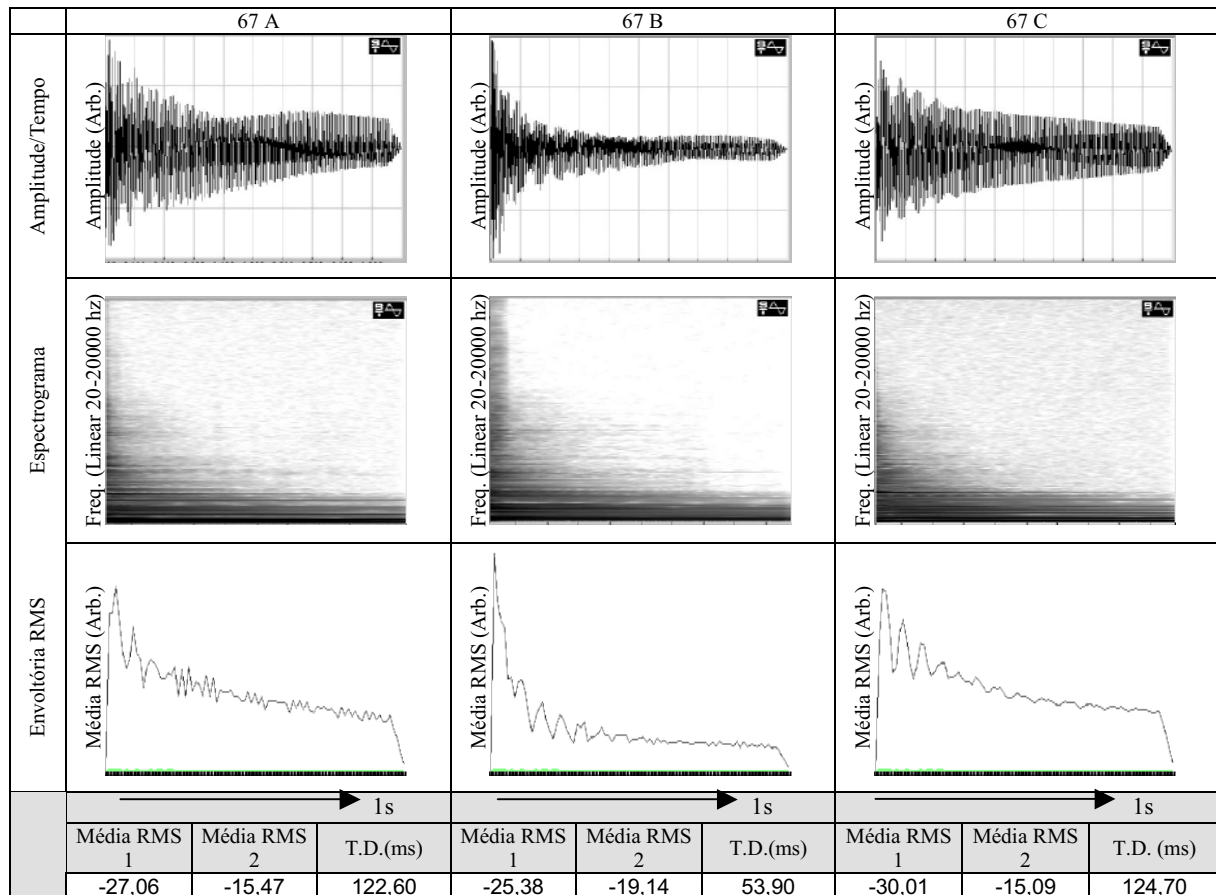
  

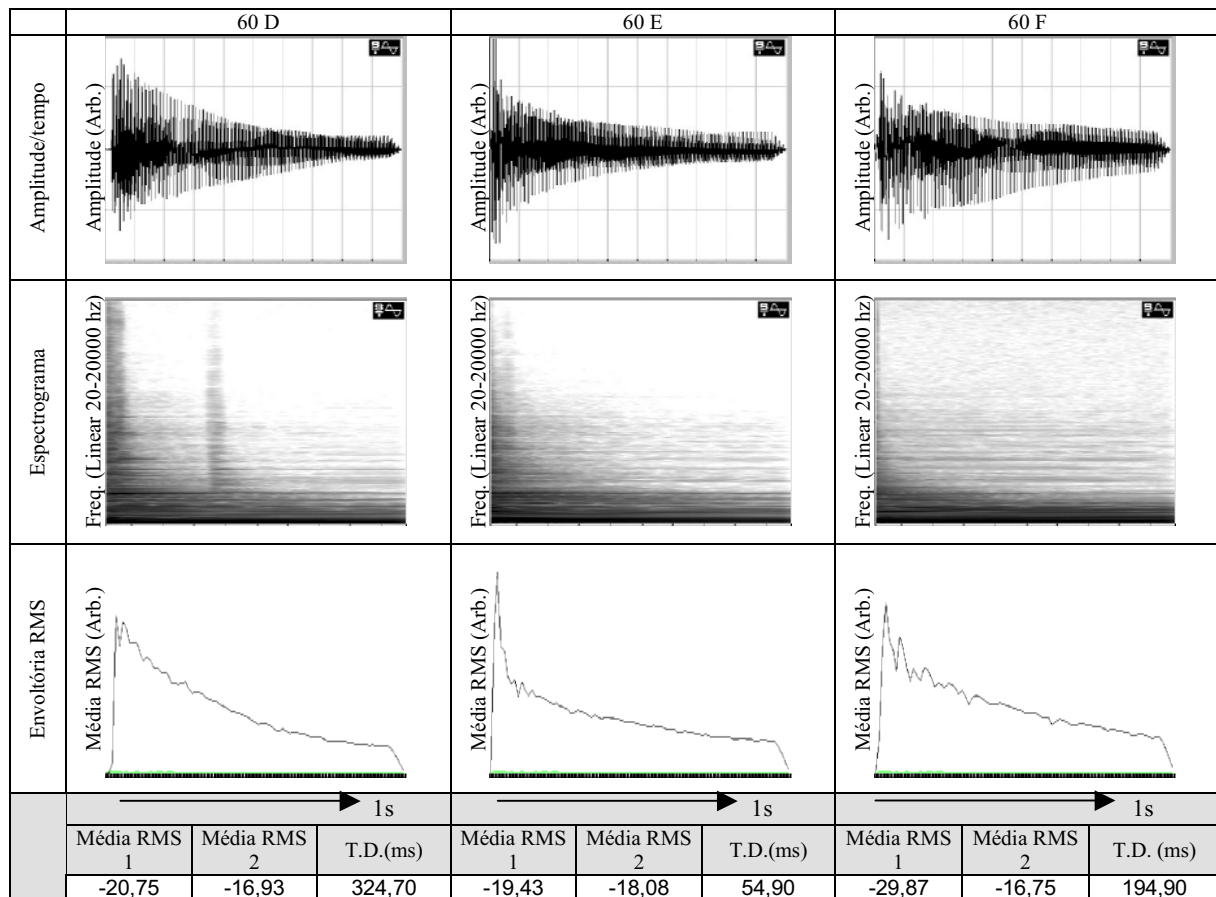
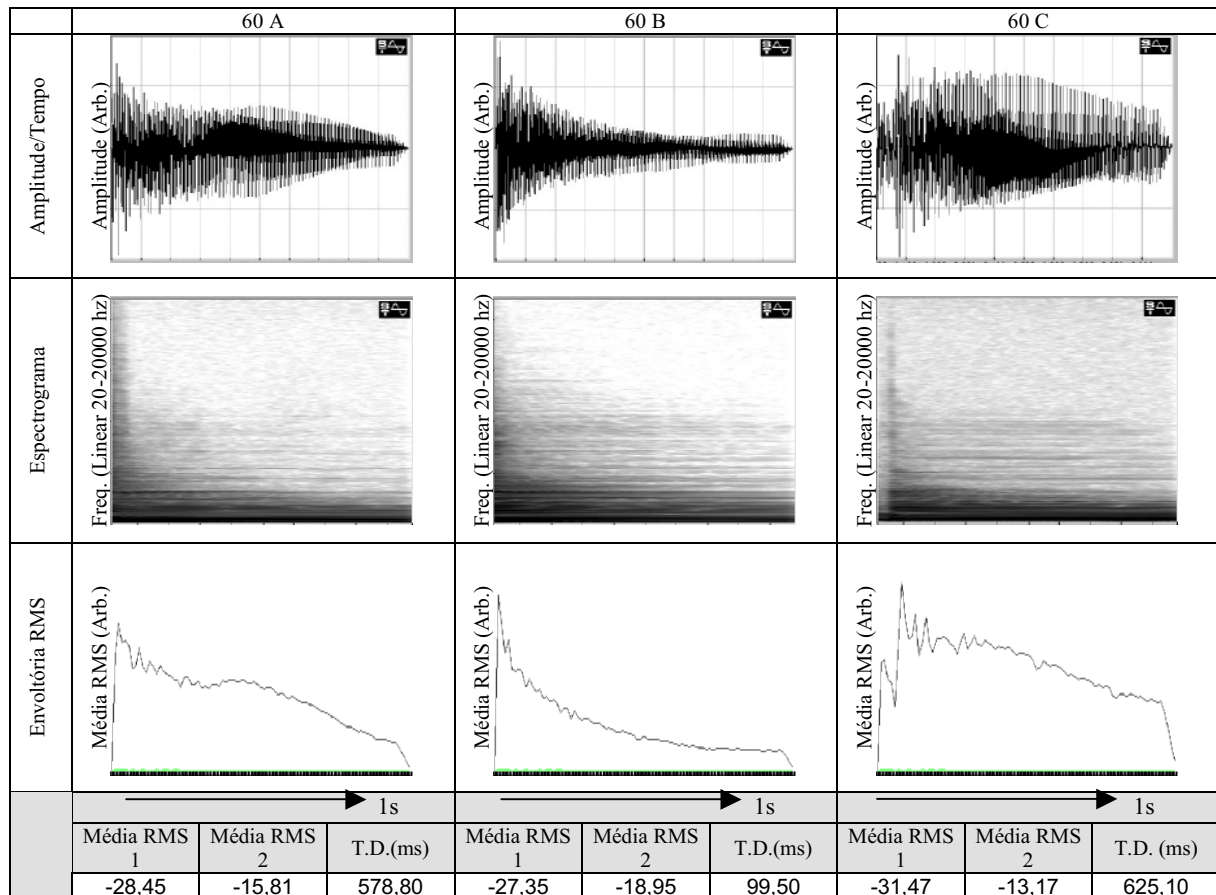
	512 D			512 E			512 F		
Amplitude/tempo									
Espectrograma									
Envoltória RMS									
	1 s			1 s			1 s		
	Média RMS 1	Média RMS 2	T.D.(ms)	Média RMS 1	Média RMS 2	T.D.(ms)	Média RMS 1	Média RMS 2	T.D. (ms)
	-18,88	-21,58	57,60	-24,71	-21,10	109,80	-20,46	-21,11	125,20

	53 A			53 B			53 C		
Amplitude/Tempo									
Espectrograma									
Envoltória RMS									
	1 s			1 s			1 s		
	Média RMS 1	Média RMS 2	T.D.(ms)	Média RMS 1	Média RMS 2	T.D.(ms)	Média RMS 1	Média RMS 2	T.D. (ms)
	-30,54	-15,65	367,20	-28,66	-20,19	45,10	-26,33	-11,51	968,40

	53 D			53 E			53 F		
Amplitude/tempo									
Espectrograma									
Envoltória RMS									
	1 s			1 s			1 s		
	Média RMS 1	Média RMS 2	T.D.(ms)	Média RMS 1	Média RMS 2	T.D.(ms)	Média RMS 1	Média RMS 2	T.D. (ms)
	-19,45	-15,57	171,10	-23,47	-17,88	67,90	-24,33	-14,55	321,50





## GLOSSÁRIO

- Acústica** – Ciência que estuda a produção, transmissão e percepção do som, tanto no intervalo da audição humana como em frequências ultra-sônicas como infra-sônicas.
- Amplitude** – A “altura” de uma onda; o máximo deslocamento de um sistema vibrante do equilíbrio (ROSSING, 1990, p. 61).
- Análise espectral** – Também chamada de análise de *Fourier* em homenagem ao matemático Joseph Fourier que formulou a teoria que permitiu as análises de espectro (acessível por diversos softwares através do processo FFT - Fast Fourier Transform). As descrições do espectro a partir destas análises são normalmente plotadas em gráficos (ROSSING, 1990, p. 127).
- Banda de Frequência** – Faixa de valores de frequência (e.g.: 100 a 200 Hz).
- Batimento** – Variações de amplitude de um som (ROEDERER, 1998, p. 57).
- Cancelamento** – (Ver *Interferência destrutiva e construtiva*)
- Comprimento de Onda** – distância entre pontos correspondentes em duas ondas sucessivas (ROSSING, 1990, p. 50). Em ondas sonoras propagando-se no ar o comprimento em metros é dado pela fórmula:  $\text{comprimento de onda} = 343 \text{ m/s} (\text{velocidade do som no ar}) / \text{frequência (Hz)}$ .
- Energia** – Apesar de haverem muitas formas de energia, no estudo da acústica consideramos normalmente a energia *mecânica*, que é transmitida na onda sonora pelo movimento das moléculas. Simplificadamente, a energia está estritamente ligada ao *trabalho* (força x distância), e será frequentemente relacionada no texto da dissertação com a *potência* que é simplesmente o trabalho dividido pelo tempo (Ver *RMS*) (ROSSING, 1990, p. 12-15).
- Envoltória** – Variação temporal da amplitude (ou energia) de uma vibração. (ROSSING, 1990, p. 31)
- Espectro** – É o resultado de uma análise da forma de onda (Ver *Análise Espectral*) que fornece a frequência e amplitude de cada componente de uma vibração complexa.
- Fase** – É a parte fracional de um período através da qual a forma de onda percorreu. A fase é normalmente expressa como um ângulo que é uma fração apropriada de 360° (ROSSING, 1990, p. 167).
- Harmônicos** – Modos de vibração cujas frequências são múltiplos inteiros da frequência do modo fundamental. (ROSSING, 1990, p. 31)
- Inarmônicos** - Modos de vibração cujas frequências não são múltiplos inteiros da frequência do modo fundamental. (ROSSING, 1990, p. 183)
- Intensidade** – Potência por unidade de área; taxa do fluxo de energia. (ROSSING, 1990, p. 107)
- Interferência destrutiva e construtiva** – A interação entre duas ou mais ondas, que podem se somar (interferência construtiva) ou se cancelar (interferência destrutiva) uma à outra. (ROSSING, 1990, p. 50)
- Leque** – Indica normalmente a estrutura de varetas de madeira dispostas abaixo do tampo superior do violão (mesmo que não estejam em forma de “leque”), visando a estruturação, controle da rigidez e distribuição da energia na madeira.
- Massa Efetiva** - É equivalente à massa de um pistão imaginário que produz a mesma resposta de um modo do violão quando excitado da mesma maneira. A área efetiva é definida como sendo a área equivalente a um pistão monopolar que, quando movido com a mesma velocidade do ponto de excitação, produz o mesmo deslocamento de volume líquido do modo de vibração a ele relacionado (PAVLIDOU, 1997).

**Modo Fundamental** – O modo de frequência mais baixa (ROSSING, 1990, p. 31).

**Modos (normais)** – Maneiras diferentes pelas quais um sistema pode vibrar.

**Nodo ou linha nodal** – Um ponto ou linha onde o movimento é mínimo (ROSSING, 1990, p. 31).

**Ondas Estacionárias** – Um modelo de onda que resulta da interferência de duas ou mais ondas; as ondas estacionárias têm regiões de amplitudes mínimas e máximas chamadas de nodos e antinodos, respectivamente (ROSSING, 1990, p. 50).

**Parcial** – Um modo de vibração (ou componente de um som); incluindo a fundamental e os harmônicos (ROSSING, 1990, p. 62).

**Potência** – Trabalho (energia) dividido pelo tempo (ROSSING, 1990, p. 15) (Ver *Energia e RMS*).

**Psicoacústica** – Ciência que lida com a percepção do som. É um campo interdisciplinar que envolve as disciplinas acadêmicas da física, biologia, psicologia, música, audiolgia e engenharia, utilizando princípios de cada um deles (ROSSING, 1990, p. 63).

**Ressonância** – 1. Quando um sistema vibrante é excitado por uma força que varia na frequência ou perto da frequência natural do sistema, resultando em amplitudes relativamente altas (ROSSING, 1990, p. 62). 2. A frequência natural de um sistema, na qual sua resposta a forças mecânicas ou elétricas chega ao máximo (ROSSING, 1990, p. 381).

**Reverberação** - Persistência de um som num recinto limitado, depois de haver cessado a sua emissão por uma fonte (HOLANDA, 1999).

**RMS** - Raiz quadrada de sua energia média durante um período de tempo T qualquer e tem a mesma unidade física do sinal. O valor RMS de um som pode estar relacionado ao volume percebido por um ouvinte quando medido em pequenos espaços de tempo.

**Som Complexo** – Superposição de sons puros misturados em uma certa proporção de tal modo que pareça ao nosso cérebro como todos não-analisáveis (ROEDERER, 1998. p.157).

**Som Puro ou som senoidal** - Som que causa um movimento harmônico simples do tímpano com características constantes (frequência, amplitude e fase) (ROEDERER, 1998. p.44).

**Sons Impulsivos** – Sons com ataques que são seguidos por decaimentos imediatos, não apresentando portanto estados estacionários claros (HADJA et al. ,1997).

**Transientes** – Um som que não ocorre novamente em uma base regular (ROSSING, 1990, p. 140).

**Trastejamento** – Termo normalmente utilizado por violonistas para denominar o efeito batimento das cordas nos trastes do instrumento. Este efeito é característico de instrumentos de baixa qualidade.

**Volume** - Avaliação subjetiva da “intensidade” de um som, a qual depende de sua pressão, frequência e timbre (ROSSING, 1990, p. 107).