

Matheus Almeida Rodrigues

O *vibrato* no violão: aspectos qualitativos e quantitativos

Belo Horizonte
Escola de Música da Universidade Federal de Minas Gerais
Agosto de 2014

Matheus Almeida Rodrigues

O *vibrato* no violão: aspectos qualitativos e quantitativos

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: Sonologia

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Freire

Belo Horizonte
Escola de Música da Universidade Federal de Minas Gerais
Agosto de 2014

*Aos meus pais e amigos,
pelo apoio que sempre me deram
nessa difícil jornada.*

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, professor Sérgio Freire, pela constante dedicação, paciência, solicitude, ajuda e confiança ao orientar-me nesta pesquisa.

Aos professores do Programa de Pós Graduação em Música da UFMG pelos momentos de debate e aprendizado.

Aos meus colegas, amigos do mestrado, por todo o afeto dispensado nesta jornada.

Aos alunos Felipe Tavares Justen (UEMG) e Anderson Reis (UFMG) pela ajuda e contribuição a pesquisa.

À comissão julgadora pela presença e colaboração.

Aos meus professores de Música, em especial Guilherme Paoliello, Eugênio Tadeu, Luiz Alberto Naveda, e todos os outros que, ao passarem por minha vida, contribuíram para minha formação musical, humana e incentivaram minha carreira de músico e professor.

À minha família, em especial minha mãe, pelo exemplo, pelo companheirismo, incentivo e força, mesmo quando pensei que não daria conta; ao meu pai, grande exemplo de pessoa e que sempre me influenciou, inclusive musicalmente; à minha tia Mônica, sempre presente; à minha irmã Isadora, companheira de música, grande amiga e revisora; às minhas três avós, pelo exemplo de vida, garra e criação que foram cruciais em minha formação; Ao meu avô, que sempre acreditou na importância da educação.

RESUMO

O presente trabalho investigou as diferentes técnicas utilizadas para se realizar o *vibrato* no violão, buscando, por meio de ferramentas de análise acústica, descrevê-las de forma abrangente, a fim de elucidar questões importantes sobre sua realização, tais como a qualidade de cada técnica, aplicabilidade, etc. Após uma revisão da literatura acerca do instrumento e da literatura acerca do ornamento em si, considerando-se tanto aspectos históricos quanto a questão acústica, buscou-se, através de experimentos empíricos realizados com violonistas, apresentar a tipologia do *vibrato* e comparar suas diferentes técnicas e possibilidades de utilização. A análise teve como foco a taxa, o desvio da frequência fundamental, a regularidade e a forma da onda. Utilizando-se de um *script* escrito para o *software* PRAAT, uma abordagem de análise baseada na extração da frequência fundamental (f_0) foi implementada e utilizada nos principais experimentos. Um segundo experimento também foi proposto, buscando compreender a influência do *vibrato* na performance da peça "Prelúdio 4", de Heitor Villa Lobos. Para tal, três sujeitos participaram das gravações dos experimentos, tocando notas com *vibrato* em diferentes velocidades e posições do instrumento. Essas gravações foram posteriormente analisadas e discutidas à luz da literatura do instrumento e das informações coletadas na revisão bibliográfica. Para a análise da performance da peça de Heitor Villa Lobos, cada músico tocou a peça duas vezes (uma sem a utilização de *vibratos* e outra inserindo o ornamento onde julgasse necessário), e as variações de tempo durante cada execução foram comparadas. Conclui-se que há variadas formas de se realizar o *vibrato* no violão, sendo que cada uma delas pode ser aplicada em determinadas situações, cabendo ao instrumentista decidir que técnica é mais cabível para cada momento.

Palavras-chave: Violão; *Vibrato*; Sonologia.

ABSTRACT

The present work has investigated the different *vibrato* techniques in the acoustic guitar, describing them thoroughly with the help of tools of acoustic analysis, aiming to elucidate important matters regarding its execution, such as the quality of each technique, their applicability, etc. After a review of previous works regarding this theme – which took into consideration both historical and acoustic aspects –, this research, through several experiments with guitar players, intended to present *vibrato*'s typology and compare its different techniques and possibilities. This analysis has focused mainly on four aspects: the rate, the deviation of the fundamental frequency, the regularity and the form of the wave. Using a script written for PRAAT software, an approach based on the extraction of the fundamental frequency (f_0) has been implemented and used in the main experiments. A second experiment was also proposed with the objective of comprehending the influence of *vibrato* technique in the performance of the musical piece “Prelúdio 4”, composed by Heitor Villa Lobos. In order to do that, three volunteers participated on recordings, playing notes with *vibrato* in different speeds and positions along the instrument. These recordings were later analyzed and discussed in the light of the literature dedicated to the instrument and the information collected through the bibliographic review. For the analysis of the performance of Villa Lobos's piece, each musician performed it twice (once without the use of *vibrato* and once with the use of the technique), and the variations of time between each execution were compared. There can be concluded that there are several ways of performing the *vibrato* technique and that each one of them can be used in different situations. It is up to the performer to decide which technique is better for each moment.

Keywords: Guitar; *Vibrato*; Sonology.

Sumário

Introdução.....	9
Parte 1: Teoria e conceitos.....	12
1 O <i>vibrato</i> na música: breve revisão bibliográfica.....	12
1.1 - O <i>vibrato</i> na prática musical.....	14
1.2 O <i>Vibrato</i> no Violão.....	16
1.2.1 A literatura sobre o <i>vibrato</i> no violão.....	16
1.3 Aspectos acústicos e psicoacústicos do <i>vibrato</i>.....	19
1.3.1 A taxa de <i>vibrato</i>	20
1.3.2 A extensão do <i>vibrato</i>	22
1.3.2 Regularidade e forma de onda.....	23
1.4 Ferramentas de análise.....	23
1.4.1 O software PRAAT.....	28
2 Aspectos históricos e acústicos do violão.....	36
2.1 Breve histórico do violão.....	36
2.2 Aspectos acústicos do violão moderno.....	39
2.2.1 As cordas.....	40
2.2.2 O tampo harmônico.....	46
2.2.3 O Ressonador de Helmholtz.....	48
2.3 Tipologia dos <i>vibratos</i>.....	50
2.3.1 O <i>vibrato</i> longitudinal.....	50
2.3.2 O <i>vibrato</i> transversal.....	54
2.3.3 O <i>vibrato</i> de boca.....	58
2.3.4 O <i>vibrato</i> de tampo.....	62
2.3.5 O <i>vibrato</i> de corda solta.....	63
Parte 2: Experimentos.....	64
3 Metodologia.....	64
3.1 Setup experimental.....	64
3.2 Descritores acústicos e ferramentas de cálculo.....	66
3.2.1 A escolha das notas.....	66
3.2.2 O Algoritmo implementado no PRAAT.....	67
3.2.3 Análise estatística dos dados coletados.....	71
3.3 Sujeitos.....	72
3.4 Experimentos.....	73
Experimento 1 - Caracterização dos <i>vibratos</i> de boca e tampo.....	73
Experimento 2 - Caracterização dos <i>vibratos</i> longitudinal e transversal.....	74
Experimento 3 - Performance dos primeiros 10 compassos do “Prelúdio 4” de Heitor Villa-Lobos.....	79
4 Resultados.....	82
Conclusão.....	99

Bibliografia	103
Anexo A - Script do PRAAT	107

Introdução

A pesquisa em Música evoluiu muito nos últimos anos, impulsionada pelo uso da tecnologia e pelo surgimento de metodologias experimentais mais objetivas. No século XX, pioneiros como Binet e Courtier iniciaram a pesquisa em uma área que está em constante crescimento: a musicologia empírica, que consiste na utilização de métodos experimentais para investigar aspectos como timbre, volume, expressividade e percepção humana dos sons. Trata-se de um trabalho de grande importância para uma maior compreensão do universo da Música, entretanto tais pesquisas concentraram-se, em sua maioria, em instrumentos de orquestra como violino ou, piano, muitas vezes deixando de lado instrumentos de som impulsivo, como, por exemplo, o violão.

O violão, diferentemente de instrumentos de corda com arco ou sopro, possui características peculiares no que diz respeito à técnica do instrumento. Volume, timbre, outros aspectos acústicos e de construção interferem, de forma significativa, na realização de certos recursos expressivos e de ornamentos amplamente utilizados na maioria dos instrumentos, como o *vibrato*. Esse ornamento, em particular, representa um desafio para os violonistas, pois o que caracteriza um *vibrato* é a oscilação de altura (e talvez também da amplitude) que deve ser realizada no âmbito de uma nota, o que, para o instrumento, é um intervalo muito curto. A técnica para a realização do *vibrato* no violão é mista, podendo realizar-se de até quatro maneiras distintas, criando efeitos diferentes. A literatura do instrumento leva em conta duas delas, realizadas pela mão esquerda do instrumentista, definidas na obra de Abel Carlevaro como (1) *vibrato* longitudinal e (2) transversal (CARLEVARO, 1985). Outras duas técnicas utilizadas são realizadas com a mão direita e serão chamadas, neste trabalho, de (3) *vibrato* de boca e (4) *vibrato* de tampo.

Estudos anteriores investigaram tanto os aspectos acústicos do *vibrato* (que tipos de oscilação podem caracterizar o *vibrato* e qual a influência de cada um deles na percepção do ornamento) quanto os aspectos técnicos (a relação da taxa de oscilação ou taxa de *vibrato* em diferentes instrumentistas). Muitos desses estudos utilizaram como objeto sons sintetizados ou de instrumentos que podem sustentar

um fluxo contínuo de som, o que não é o caso do violão. As características acústicas de cada um dos quatro *vibratos* violonísticos foram pouco estudadas, assim como pouco se sabe da percepção dos ouvintes com relação a cada uma das técnicas.

Colocam-se, assim, algumas questões importantes: Quais são as características de cada *vibrato* violonístico e que fatores acústicos podem interferir em sua realização? Qual é a tipologia do *vibrato* no violão? Qual das técnicas é mais eficaz? Estas são questões que demonstram a importância da realização de estudos mais acurados que contribuam para um melhor entendimento do instrumento.

Este trabalho pretende, portanto, discutir essas questões realizando uma revisão histórica sobre o violão, a fim de que se compreendam melhor suas características e peculiaridades. Pretende também fazer uma revisão sobre o ornamento *vibrato*, com o objetivo de se compreenderem melhor as características acústicas e psicoacústicas deste ornamento. Uma revisão de algumas ferramentas de análise também se faz necessária, buscando apontar qual a metodologia mais adequada para se analisar o *vibrato* no violão. Buscou-se, ainda, comparar as características acústicas de cada técnica de *vibrato* violonístico, com o objetivo de identificar quais delas são mais eficazes para cada região do instrumento. Utilizando metodologias já testadas em outros estudos, pretendeu-se, por fim, identificar a relação entre a técnica utilizada e os resultados obtidos em cada tipologia de *vibrato*.

Estrutura da dissertação

Esta dissertação se divide em duas partes e uma conclusão, sendo que cada uma destas partes se divide em dois capítulos:

No primeiro capítulo da primeira parte, intitulado “O *vibrato* na música: breve revisão bibliográfica”, realizar-se-á um estudo teórico sobre o ornamento no qual se apresentarão um breve histórico desta prática musical e suas características físicas.

No segundo capítulo, serão discutidos os aspectos históricos e acústicos do violão, assim como a tipologia do *vibrato* no instrumento.

No primeiro capítulo da segunda parte, será pormenorizada toda a metodologia utilizada na fase experimental da pesquisa, e, no segundo, apresentar-se-ão os resultados obtidos nos experimentos, assim como sua discussão.

Finalmente, algumas conclusões serão apresentadas, com o objetivo de se compreender melhor o funcionamento e a eficácia de cada técnica de *vibrato*.

Parte 1: Teoria e conceitos

1 O *vibrato* na música: breve revisão bibliográfica

O *vibrato* é um ornamento amplamente utilizado pela maioria dos instrumentistas e cantores. Consiste em provocar uma oscilação em uma nota, seja por meio da variação de altura, que pode vir somada a uma variação de timbre e/ou amplitude, conferindo-lhe maior destaque, ou seja, realçando a nota tocada (JARVALAINEN, 2002). Talvez a primeira hipótese sobre as características do *vibrato* tenha sido a de Johann Mattheson (1681-1764), que, em 1739, fez a seguinte afirmação:

O *tremolo*, ou *Beben* (*vibrato*), da voz é uma das modificações mais sutis realizadas em uma única nota. Para sua realização, a ação principal acontece na epiglote, que realiza um movimento delicado de controlar a saída de ar. Em alguns instrumentos de corda, o movimento dos dedos sem que se saia da posição no braço pode produzir o mesmo efeito, especialmente em alaúdes, violinos e clavicórdios (MATTHESON *apud* DEJONCKERE, 1995, p. 4. Tradução livre).¹

A palavra “*vibrato*” é originária do latim *vibrare* cuja tradução é “vibrar”, “balançar”. Uma vez que essa terminologia não estava padronizada até o século XX, é possível encontrar referências mais antigas como *flattement*, *flatté*, *balancement*, *balancé*, *plainte*, *languueur*, *verre cassé*, *tremolo*, *tremolo sforzato*, *ardire*, *triletto*, entre outros, que eram utilizados para definir graus de *vibrato*, principalmente na música vocal (SADIE, 2001).

De acordo com Dejonckere (1995), o principal problema na literatura antiga é a confusão terminológica com o termo *vibrato* (como acontece na maioria dos ornamentos). Somente a partir do final do século XIX, os autores deixaram de criar novos termos para descrever a técnica.

Não são raras as confusões entre o termo *vibrato* e outros ornamentos, principalmente o *tremolo*, o *trill* e o *trillo*. Tais ornamentos têm técnicas e resultados acústicos diferentes. O *trill*, ou trinado, consiste na rápida alternância de duas notas

¹ The tremolo, or *Beben* (*vibrate*), of the voice is the most gentle motion possible on a single definite note, in the production of which the main action occurs in the epiglottis (*Oberzünglein*) of the throat, moving in a very soft way to moderate the breath, just as on instruments the soft movement of the fingertips without changing their positions can accomplish the same thing, especially on lutes, violins and clavichords.

próximas (a um tom ou a um semitom de diferença), enquanto o *trillo* (apesar de também ser o termo em italiano para *trill*) consiste em um ornamento vocal onde é realizada uma rápida repetição da nota que inclui repetidos *onsets* e *offsets* vocais. O *trillo* é executado pelo músculo adutor-abdutor da laringe, podendo chegar, pela resposta rápida alcançada por esse músculo, a taxas (velocidade da variação) de até 10 a 12 Hz. Apesar de uma variação de altura não ser desejada no *trillo*, é possível que se encontrem variações entre 0.5 a 1 semitons, provocadas pelo processo de adução-abdução do músculo, que modifica um pouco o tamanho das pregas vocais. Já o *tremolo* pode ser interpretado tanto como a repetição de uma mesma nota (muito utilizada no violão) ou na variação de amplitude de uma nota, criando assim um pulso (DEJONCKERE, 1995).

Podemos, então, definir o *vibrato* como um ornamento que consiste na variação regular de frequência (*pitch*) de uma nota musical, acompanhado por vezes de variações em outros atributos, como timbre e intensidade, e utilizado como recurso expressivo em performances musicais. Este ornamento é comumente caracterizado por dois fatores: a extensão, que é definida pela variação total de altura da nota, e a taxa (ou frequência), definida pela velocidade da realização do ornamento. O período representa uma variação completa.

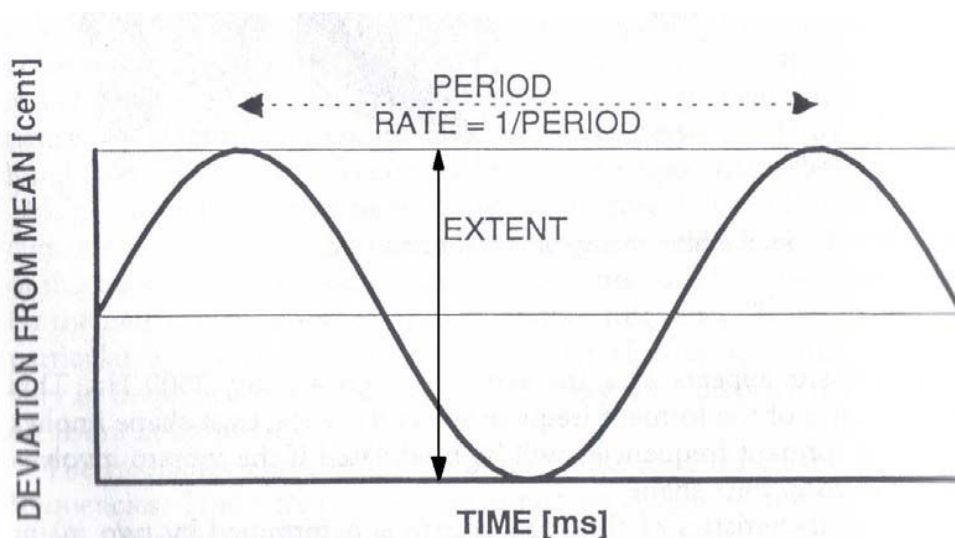


Figura 1.1 Definição de período (*period*), taxa (*rate*) e extensão (*extent*) do *vibrato* (SUNDBERG, 1995. Adaptação minha).

1.1 - O *vibrato* na prática musical

O *vibrato* pode ser realizado por uma gama significativa de instrumentos e pela voz. No entanto, a técnica utilizada para a sua reprodução varia (assim como o resultado em si) de acordo com as características de cada instrumento. Trabalhos como os de Sundberg *et al.* (1993) reuniram em um livro uma série de artigos sobre o *vibrato* (concentrados principalmente no *vibrato* vocal), descrevendo características acústicas, psicoacústicas e históricas desse ornamento.

Na voz, o *vibrato* pode ser realizado de duas formas diferentes, como mostra VIEIRA (2004):

No canto, o *vibrato* é produzido modulando-se a tensão da musculatura laríngea responsável pela tensão e enrijecimento das pregas vocais (músculos cricótireoideos e tiroaritenóideos, respectivamente); também é fisiologicamente possível produzir o *vibrato* variando-se a pressão subglótica (que resulta em maior deslocamento lateral das pregas vocais e, conseqüentemente, na elevação de sua tensão média), mas esta parece não ser a técnica natural de cantores experientes (VIEIRA, 2004, p. 77).

No *vibrato* vocal, a variação de amplitude pode surgir pela variação de altura, pois quando a frequência de uma parcial varia, distanciando-se assim da formante mais próxima, varia também sua amplitude. Outra possibilidade é ocasionada por características do sistema vocal que podem provocar uma variação de amplitude através de pulsações na subglote ou por um “ajustamento” da glote (SUNDBERG, 1993).

Já em instrumentos de sopro, como a flauta transversal, o *vibrato* é produzido através da variação da intensidade no âmbito de uma nota, que provoca uma variação de amplitude, bem como um efeito secundário de variação na altura das notas, como descrito por Dalsant (2011):

De acordo com Fletcher (1974, p. 61), o *vibrato* da flauta, ao contrário daquele produzido pelos instrumentos de corda, é eminentemente de intensidade. Enquanto no violino, por exemplo, os pequenos movimentos do dedo sobre uma corda provocam ondulações na frequência (variações de afinação) que chamamos de *vibrato*, na flauta, ele é feito por meio de pequenos crescendos/diminuendos (variações de dinâmica) que, sendo impossíveis de serem compensados, provocam como efeito secundário alterações de frequência (afinação). A variação de frequência considerada como secundária por Fletcher (1974) acontece, então, como um efeito colateral da variação de intensidade (DAL SANT, 2011, p. 13).

Tal fenômeno é explicado pelo próprio funcionamento da flauta transversal, que tende a aumentar a afinação quando se toca mais forte e a diminuir a afinação

quando se toca mais fraco. Os flautistas normalmente compensam esse efeito realizando alterações na embocadura e na coluna de ar, mas tais compensações não são possíveis na velocidade que ocorre o *vibrato*, provocando então variações de altura. Portanto, na flauta, o *vibrato* é principalmente uma variação na dinâmica (intensidade da nota) que possui um efeito secundário de variação de altura (DALSANT, 2011).

[...] de acordo com Fletcher, o *vibrato* nos instrumentos de sopro é obtido por meio de uma modulação no fluxo de ar: isso produziria uma variação na amplitude (AM) e conseqüentemente na frequência fundamental (FM). Começamos, então, a individualizar alguns dos parâmetros acústicos envolvidos no *vibrato*: variações de frequência (FM) e de amplitude (AM). No caso da flauta, tem prioridade a mudança de amplitude, ou seja, de dinâmica (DALSANT, 2011, p. 13).

Por sua vez, no caso de instrumentos de sopro com palhetas, principalmente instrumentos de palheta dupla como o oboé, há diferentes técnicas para a realização do ornamento. Em trabalho que discutiu a performance do *vibrato* em um trecho musical por diversos instrumentistas, Timmers (2000) analisou a produção do ornamento por uma oboísta, HR, pedindo inclusive que a musicista descrevesse quais técnicas foram utilizadas:

De acordo com HR, o *vibrato* no oboé pode ser realizado de diferentes maneiras: utilizando a garganta, o diafragma, ou até mesmo lábios e maxilar. HR utilizou o *vibrato* de garganta na performance de "Le Cygne" porque se trata de uma técnica em que se consegue rapidez e expressividade. Este tipo de *vibrato* é produzido por uma rápida repetição de um curto som de "a". Ela ensina a seus alunos a fazer um vibrato ritmicamente rápido por meio de sincronização com o metrônomo. O resultado é uma flutuação periódica na altura da nota ao redor de um centro estável. HR utilizou-se de um pequeno *vibrato* em sua interpretação de "Le Cygne" em razão de seu caráter leve e sutil e deu à primeira e à quarta notas mais *vibrato* do que nas outras notas da primeira linha. Na segunda linha, ela tocou o Lá de forma intensa, relaxando ao final da subfrase. O próximo Mi ganhou um *vibrato* considerável, mas as notas subsequentes não receberam *vibratos*, apenas "barrigas" [uma variação de frequência que se assemelha a uma barriga]. A última nota, por sua vez, recebeu um *vibrato* bastante expressivo. Segundo HR, a relação entre o *vibrato* e outros aspectos performáticos funciona da seguinte forma: a taxa e a extensão de *vibrato* aumentam com a resitência de um tom; a taxa de vibrato aumenta com o volume de um tom e é influenciada pelo ritmo do acompanhamento (TIMMERS, 2000, p. 5. Tradução livre).²

² "According to HR, *vibrato* on an oboe can be made in several ways; by using the throat, the diaphragm, or even the lips or jar. HR used throat *vibrato* in "Le Cygne", because it is quite fast and expressive. Throat *vibrato* is produced by a rapid repetition of a short "a" sound on the oboe. She teaches her pupils to perform a rhythmically and fast *vibrato* by synchronization with a metronome. The result is a periodic fluctuation in pitch around a stable pitch center. HR used small *vibrato* in her performance of "Le Cygne" is, because of its soft and subtle character. She gave the first note and the fourth note more *vibrato* than the other notes of the first bar. In the second bar, she played the a intense and relaxed towards the end of the sub-phrase. The next e got considerable *vibrato*, the following eighth notes did not get *vibrato*, but "bellies", and the last note got extra *vibrato*.

Em instrumentos de corda, como o violino ou o violoncelo, o *vibrato* é realizado através da movimentação uniforme para cima e para baixo do dedo do instrumentista. Durante essa movimentação, o ponto de pressão da corda no braço do instrumento sofre pequenas variações, diminuindo e aumentando o tamanho da corda, enquanto, ao mesmo tempo, é também realizada uma pequena variação na pressão da mesma, provocando principalmente um *vibrato* de altura. A velocidade do ornamento é determinada pela velocidade do movimento da mão esquerda, e a extensão do *vibrato* é provocada pela amplitude do deslizamento do dedo na corda, provocando uma variação maior ou menor de altura. Juntamente com a variação de altura da nota, também acontece, como efeito secundário, uma pequena variação de amplitude, na mesma taxa da variação de frequência (FLETCHER, 2005).

1.2 O *Vibrato* no Violão

1.2.1 A literatura sobre o *vibrato* no violão

Um dos primeiros tratados escritos exclusivamente para o violão, *Guitarra española y vandola en dos maneras de guitarra, castellano y cathalana de cinco ordenes* (cinco cordas), é da autoria do violonista espanhol Juan Carlos Amat e foi publicado em 1572. Atribui-se a frei Miguel García, compositor espanhol do século XVIII, a introdução do *punteado*, característico da *vihuela*, ao violão. Posteriormente se lhe acrescentaram o portamento e o *vibrato* próprio dos instrumentos de arco (ALTAMIRA, 2005).

Desde então, o *vibrato* é utilizado, pela maioria dos violonistas e compositores, como importante recurso expressivo. Poucas fontes escritas são encontradas sobre o *vibrato* no violão, no que diz respeito às técnicas empregadas em sua realização. Muitas vezes, os violonistas realizam o *vibrato* de forma intuitiva, em razão da carência de métodos que sistematizem sua técnica, como afirma o violonista David Russell: “O vibrato é um dos principais efeitos expressivos do violão, no entanto a maioria dos violonistas o realiza de forma intuitiva, e não é comum encontrar nos

Dependencies between *vibrato* and other performance aspects are, according to HR: *vibrato* rate and extent increase with the resistance of a tone, *vibrato* rate increases with the loudness of tone and is influenced by the rhythm of the accompaniment.”

métodos um estudo sistemático de como praticá-lo. Particularmente, me dediquei muito ao estudo do vibrato, talvez por minha formação inicial como violinista” (RUSSEL *apud* MADEIRA, 2008, [s. p]).³

Abel Carlevaro, um dos mais importantes professores e compositores para violão do século XX, em sua obra *A escuela de La guitarra*, dedicou, ao *vibrato* alguns exercícios técnicos. Carlevaro sistematiza duas técnicas de *vibrato* realizadas pela mão esquerda: a do *vibrato longitudinal* e a do *vibrato transversal* (CARLEVARO, 1985).

Segundo o autor, a técnica de *vibrato longitudinal* consiste em ter um ou mais dedos da mão esquerda realizando um movimento seguindo a direção da corda, aproximando-se e distanciando-se do traste que delimita a nota tocada. Para ele, à medida que o dedo se aproxima da direção da pestana (*nut*) do violão (antes do primeiro traste), é percebido um aumento na entonação da nota e, quando o movimento se aproxima da ponte do violão (*bridge*), é percebida uma queda na entonação. Através de um movimento constante e repetido, é então realizado o *vibrato*. Carlevaro também argumenta que, para se conseguir um efeito perceptível de variação de altura (*pitch*), é necessário possuir, para os dois lados do movimento, uma quantidade significativa de corda, pois em notas tocadas nos primeiros trastes do instrumento a tensão da corda dificultaria o movimento e a realização do ornamento (CARLEVARO, 1985).

Em seu método para violão clássico, Vahdah Olcott Bickford explica de forma sucinta como o *vibrato longitudinal* deve ser realizado:

Para que se produza o *vibrato* é necessário que se mantenha a pressão na nota que se deseja “vibrar” durante seu duração, e, imediatamente após o ataque da nota, que se comece um movimento oscilatório da mão por meio do qual a corda é puxada ora em direção à pestana, ora em direção à ponte, num movimento continuado que deverá se manter enquanto durar a nota. Alternar a direção da corda para um lado e para o outro tem o efeito de apertar e soltar a tensão e, assim, produzir aumento ou diminuição da afinação, alcançando-se, assim, um efeito pulsante, vivo. Isto aumenta a duração da nota no que concerne à qualidade de sustentação, bem como um aprofundamento da sensação causada pela nota o qual não é possível quando não se usa o *vibrato*. Quando benfeito e utilizado com bom gosto, o

³ Trata-se de uma transcrição de master class ministrada por David Russel coletada por Bruno Madeira, em <<http://violao.brunomadeira.com/index.php?s=carlevaro>>.

vibrato alcança efeitos bastante bonitos (BICKFORD, 1964, p. 97. Tradução livre).⁴

”

Nesta perspectiva, nota-se que o *vibrato* longitudinal cria uma variação de altura tanto acima quanto abaixo da nota tocada, como mostra a figura a seguir:



Figura 1.2 - Variação de altura (*pitch*) da nota tocada no violão, onde a linha reta representa a altura real da nota e a linha ondulada sua variação (acima e abaixo) através do tempo (CARLEVARO, 1985, p. 96).

Já no *vibrato* transversal, o dedo deve se movimentar paralelamente à linha do traste, ao invés de se movimentar para os lados, promovendo um maior “esticamento” da corda, como afirma o violonista Daniel Wolff: “o dedo alterna movimentos para cima e para baixo, num ângulo de noventa graus em relação à corda, alterando o som para o agudo em ambas as direções do movimento. Geralmente é reservado para as primeiras casas do braço do violão, nas quais o vibrato longitudinal dá poucos resultados” (WOLFF, 1999).

Carlevaro argumenta que neste tipo de *vibrato* é necessário aplicar na corda um efeito de “alavanca”, para que se obtenha a força necessária para romper a resistência natural da corda, usando para isso principalmente o arco formado entre os dedos polegar e indicador. Tal técnica é mais indicada para regiões onde o *vibrato* longitudinal é pouco eficaz (principalmente nos primeiros trastes) e provoca uma variação de altura sempre acima da nota real, como descrito na figura a seguir:



Figura 1.3 - Variação de altura (*pitch*) da nota tocada no violão, onde a linha ondulada demonstra sua variação (acima) através do tempo (CARLEVARO, 1985, p. 99)

⁴ “The vibrato is produced by keeping the pressure on the note to be vibrated during its full value, and immediately after striking the note commencing an oscillatory motion of the hand, by which the string is alternately pulled towards the nut and the bridge, continuing the motion during the full time of the note. The alternate pulling of the string in opposite directions has the effect of alternately tightening and loosening the tension and producing a corresponding sensible raising and lowering of the pitch so that it gives a pulsating, live effect, adding greatly to the duration of the tone as regards sustaining quality, as well as giving a depth of feeling not found in a long tone where the vibrato is not used. When used with taste and well produced, its effects are very beautiful.”

1.3 Aspectos acústicos e psicoacústicos do *vibrato*

Apesar de a maioria dos trabalhos encontrados sobre o *vibrato* versar sobre o *vibrato* vocal, algumas das características acústicas e psicoacústicas analisadas, assim como terminologias utilizadas, podem ser aplicadas aos instrumentos, sobretudo quanto à técnica empregada para sua realização. Pierre Baillot (1771-1824), que escreveu o método oficial de violino do conservatório de Paris, descreve o *vibrato* instrumental como uma “imitação do *vibrato* vocal: O *vibrato* dá ao som do instrumento uma grande similaridade com a voz humana no estado de uma emoção profunda” (DEJONCKERES, 1993, p. 59).

Sundberg (1993) mostrou que o *vibrato* pode ser descrito acusticamente em quatro parâmetros, enumerados abaixo:

1. A taxa de *vibrato* (*rate*) que especifica o número de variações por segundo;
2. Sua extensão (*extent*) que especifica a variação de altura (acima e abaixo) sobre a frequência da nota tocada (muitas vezes definida como f_0), podendo ser expressa em Hertz, cents ou em semitons;
3. A regularidade da oscilação (*regularity*) que está relacionada com o grau de similaridade da variação através do tempo;
4. A forma de onda (*waveform*) que mostra se a variação se assemelha ou não a uma senoide.

Desses quatro parâmetros, apenas a taxa e a extensão foram amplamente estudados anteriormente a 1993, quando Sundberg publicou seu livro *Vibrato*, o que deixava lacunas metodológicas para a análise da regularidade e da forma de onda (SUNDBERG, 1993).

Além dos quatro parâmetros citados, todos eles relacionados à altura da nota, o *vibrato* pode muitas vezes promover alterações sucessivas na amplitude da nota, como descrito por Sundberg: “Notas tocadas com vibrato normalmente não variam apenas em frequência, mas também em amplitude, ou, mais precisamente, as amplitudes das várias parciais do espectro da nota com vibrato tendem a variar.

Apesar de a percepção dessa variação de amplitude ser limitada, tal variação já foi analisada em diversas investigações” (SUNDBERG, 1995 p.60. Tradução livre).⁵

De acordo com Verfaille *et al.* (2005), o *vibrato* pode ser considerado um atributo timbrístico, visto que, quando realizado, pode gerar complexas modulações espectrais. Encontra-se, no *vibrato*, pelo menos uma das três características seguintes:

- Pulsações da frequência fundamental, que são percebidas como “pulsações de *pitch*” e, depois, compreendidas como *vibrato* (modulação de frequência ou *vibrato* de altura);
- Pulsações de intensidade, que são percebidas como “pulsações de *loudness*” e, depois, compreendidas como *vibrato* (modulação de amplitude ou *vibrato* de intensidade);
- *Spectral enrichment cycles* que correspondem a pulsações de envoltória espectral e são percebidas como modulações no brilho: A centroide espectral também varia periodicamente e em sincronia com uma pulsação de amplitude e/ou variação de frequência, se houver (modulação de envoltória espectral);

A frequência da nota percebida em um som com *vibrato* depende da duração da nota em si. No caso de *vibratos* com sustentação de nota, a altura pode ser estimada pela média geométrica entre suas frequências extremas. Em notas curtas com, no máximo, dois ciclos de *vibrato*, a parte final do *vibrato* pode influenciar na percepção da frequência fundamental (VERFAILLE *et al.*, 2005).

1.3.1 A taxa de *vibrato*

A taxa de *vibrato*, como visto, representa a velocidade da oscilação e já foi objeto de investigações anteriores. Estudos realizados por Tom Shipp, Rolf Leaderson e Johan Sundberg, em 1980, com cantores de ópera profissionais, mostraram que os sujeitos analisados não conseguiam mudar a taxa de *vibrato* conscientemente. De acordo com Sundberg, no caso da voz, a taxa parece

⁵ Vibrato tones generally vary not only in frequency, but also in amplitude, or, more precisely, the amplitudes of the various spectrum partials of a vibrato tone tend to vary. Although the perceptual significance of these variations seems limited, this amplitude variation has been analyzed in a number of investigations.

dependem de diversos fatores, como sexo, idade e até o envolvimento emocional do cantor. A taxa de *vibrato* tende a ser maior nas mulheres que nos homens, com médias de 5.9 Hz e 5.4 Hz respectivamente. Damsté, Reinders e Tempelaars (1982) estudaram, por sua vez, a relação da idade com a taxa de *vibrato* ao compararem pares de gravações de sete cantores. Concluiu-se, que, na maioria dos casos, a taxa de *vibrato* diminui conforme aumenta a idade, como mostra a figura a seguir (SUNDBERG, 1995):

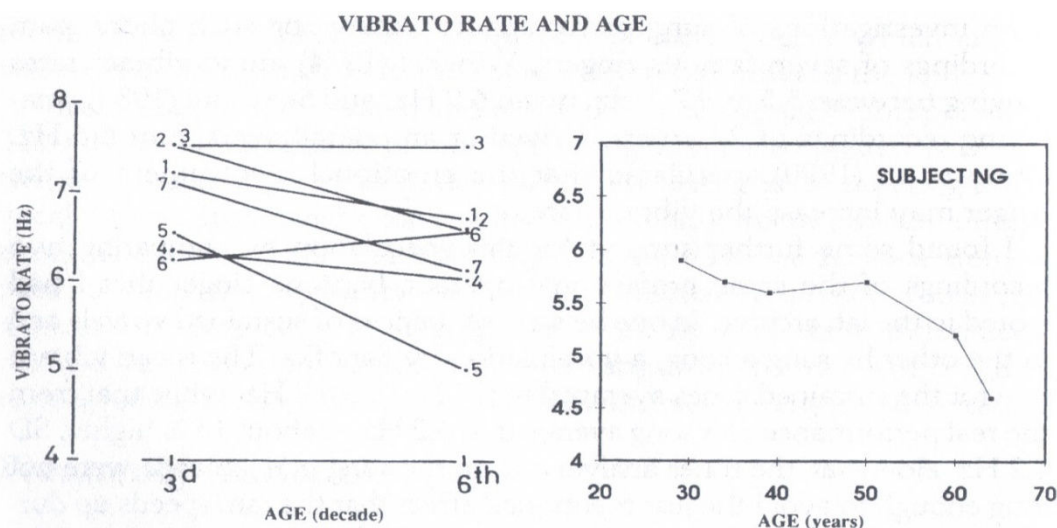


Figura 1.4 – A taxa de *vibrato* vs. a idade do cantor: O gráfico à esquerda contém os dados colhidos por Damsté *et al* (1982). O gráfico à direita mostra a variação da taxa de *vibrato* de um mesmo cantor em gravações da mesma música em um período de 35 anos. Fonte: Sundberg (1995).

Em estudos realizados por Winkel, em 1974, gravações analisadas de sete cantores famosos mostraram taxas de *vibrato* que iam de 5,5 Hz a 7,7 Hz (média de 6,9 Hz). Anteriormente, em 1938, C. Seashore encontrou uma média de 6,6 Hz, ao analisar gravações de 29 artistas diferentes (SUNDBERG, 1995).

Ao contrário da voz, instrumentos de corda como o violino e o violão podem variar a taxa de *vibrato* com muito mais facilidade, pois, nesses instrumentos, o *vibrato* é realizado pelos movimentos dos dedos da mão esquerda, ao longo da corda atacada, bastando acelerar-se a velocidade do movimento para se aumentar a taxa de *vibrato*, o que pode ser facilmente trabalhado com exercícios técnicos. É possível encontrar um aumento da taxa de *vibrato* ao fim da nota, estimado como de aproximadamente 15% para sons de violino (PRAME, 1997) e como exponencial crescente para sopranos (BRETOS; SUNDBERG, 2003).

Em uma pesquisa realizada com diversos instrumentos de cordas (violinos, violas de gamba, violoncelos, alaúdes, violões, entre outros), Dirk Moelants (2004)

concentrou-se nas taxas de variação de três ornamentos: *trill* (trinado), tremolo e *vibrato*. Ancorado em estudos anteriores que definiram que uma taxa “normal” para o *vibrato* seria de 6,5 Hz, Moleants realizou gravações com 56 músicos, todos tocando cada um dos três ornamentos em três velocidades: lenta, média e rápida, sendo estas realizadas de acordo com a experiência de cada sujeito. Analisando todas as gravações com o software livre PRAAT, o autor chegou à conclusão de que, para todos os instrumentos, as taxas médias eram de 6,4 Hz, 9,3 Hz e 12,1 Hz para as velocidades lentas, médias e rápidas, respectivamente, sendo que, para os instrumentos de arco, as taxas eram consideravelmente mais altas que em instrumentos de corda pinçada (violão e alaúde). Moleants concluiu, ainda, que as taxas em notas graves eram mais lentas que em notas mais agudas.

1.3.2 A extensão do *vibrato*

A extensão média para o *vibrato* vocal é de aproximadamente um semitom (acima e abaixo da nota cantada), podendo ser influenciada pela amplitude da nota. Estudos realizados por Schultz-Coulon e Battmer, em 1981, por exemplo, mostraram uma soprano que aumentava a extensão de seu *vibrato* de 1 a 1,5 semitons, quando aumentava a amplitude da nota em 15 dB. Instrumentos de arco e sopro normalmente mostram menores extensões de *vibrato*, não chegando a 0,5 semitom (SUNDBERG, 1993). Na figura 1.5, é possível observar a variação da extensão do *vibrato* em amostras gravadas por uma mesma soprano em dois níveis de pressão sonora (*vocal loudness*) diferentes, em estudos realizados por Shultz-Coulon e Battmer em 1981:

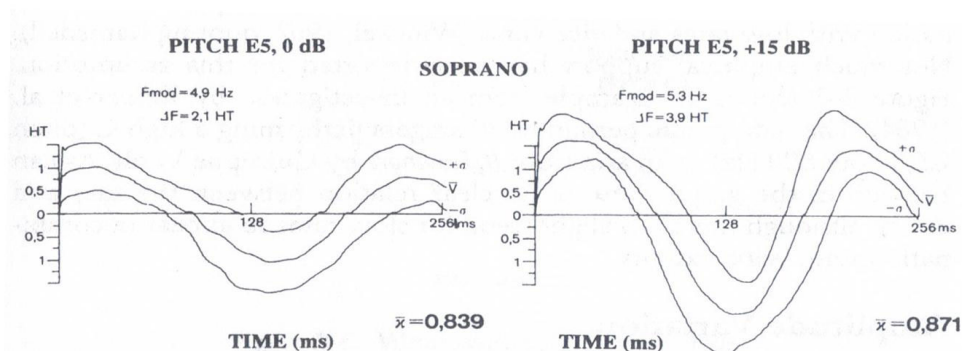


Figura 1.5 – Representação da variação de frequência no *vibrato*, observadas em uma soprano cantando no mesmo tom em dois níveis de pressão sonora diferentes. As curvas do meio representam a média da variação, enquanto as curvas de cima e de baixo representam o desvio padrão. Para a amostra mais suave, a taxa medida foi de 4,9 Hz e a extensão de 2,1 semitons,

enquanto que, para a amostra mais forte, a taxa medida foi de 5,3 Hz e a extensão de 3,9 semitons. O x está relacionado à regularidade do *vibrato*. Fonte: Sundberg (1995).

Estudos mais recentes realizados por Järveläinen (2002), utilizando testes subjetivos com amostras sintetizadas de *vibrato*, mostraram que, para os sujeitos utilizados no experimento, a extensão do *vibrato* é menos relevante que sua taxa.

1.3.2 Regularidade e forma de onda

A regularidade do *vibrato* tem relação direta com o que se denomina *waveform* da oscilação visto que, quanto mais a forma de onda se assemelhar a uma senoide possuindo ciclos iguais e pouca variação de extensão nos ciclos seguintes, mais regular será esse *vibrato*. Um *vibrato* pouco regular terá uma forma de onda assimétrica, com uma taxa de variação oscilante e variações de extensão. De acordo com Sundberg, poucos trabalhos dedicaram-se a investigar esses dois parâmetros, havendo uma maior concentração na taxa e na extensão do *vibrato* (SUNDBERG, 1995).

1.4 Ferramentas de análise

Para se compreender melhor como funciona o *vibrato* em diferentes instrumentos e situações, análises de gravações de amostras utilizando recursos como os espectrogramas podem ser muito úteis para definir como é o ornamento em cada situação, sua taxa e extensão máxima, entre outros. Vieira (2004) nos mostra que "a taxa e podem ser medidas em espectrogramas de banda estreita utilizando-se algum software que disponha de escalas e/ou resolução adequadas" (VIEIRA, 2004, p. 77), como podemos observar na figura a seguir:

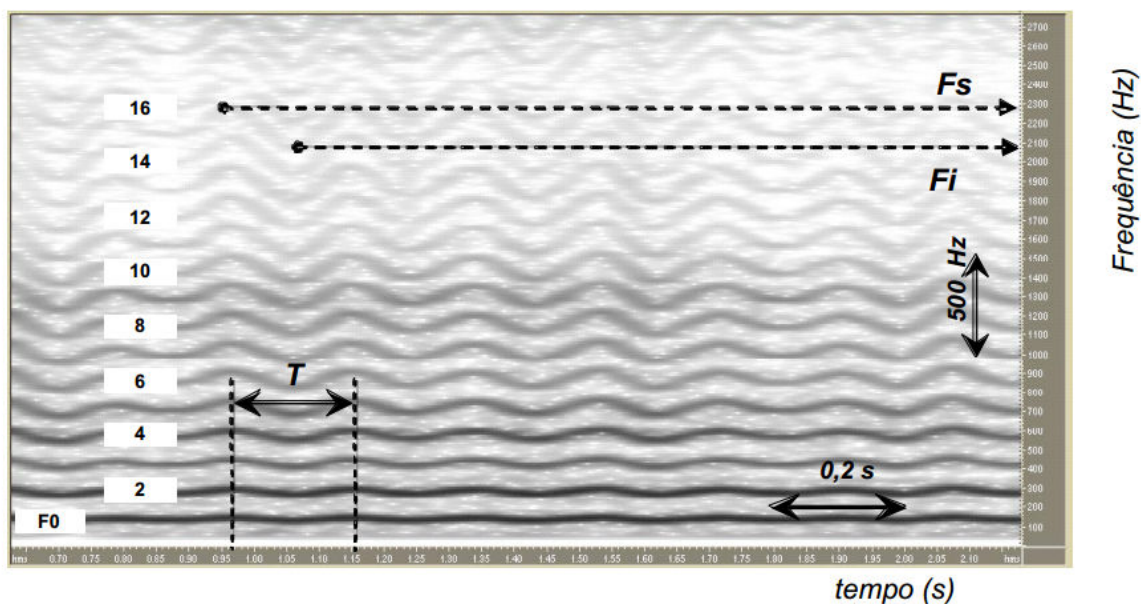


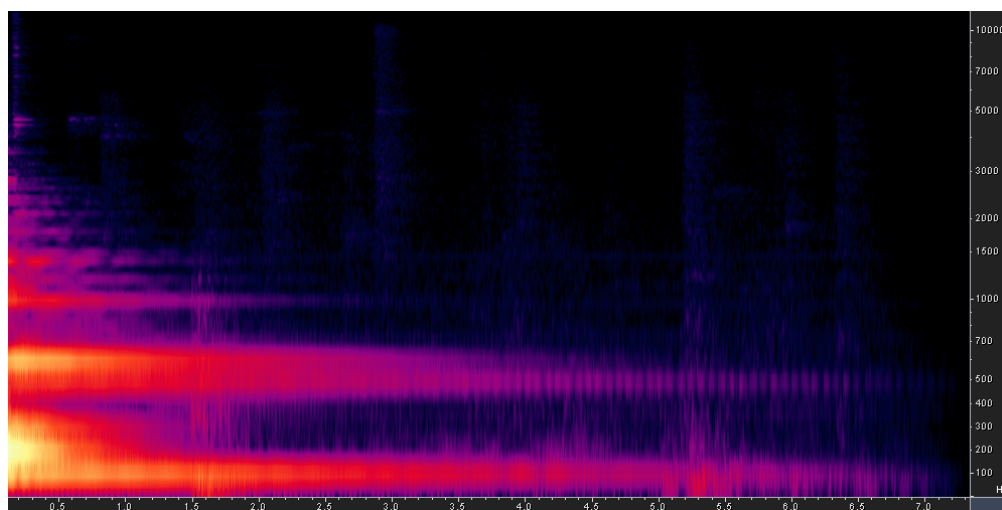
Figura 1.6 - Espectrograma de banda estreita mostrando as ondulações introduzidas em toda a série harmônica devido ao *vibrato*. Os números crescentes à esquerda da figura (2, 4, 6, ...) são a ordem do harmônico. O período do *vibrato* é $T \approx 0,19$ s e a taxa é $F = 1/0,19$ s = 5,3 Hz. O 15º é utilizado para medir a amplitude do *vibrato*: sua frequência inferior é $F_i = 2080$ Hz e a superior é $F_s = 2280$ Hz. O valor médio de F_0 é $1/2 (2280 + 2080)/15 = 145,3$ Hz e a amplitude do *vibrato* é $1/2 (2280 - 2080)/15 = \pm 6,67$ Hz, ou seja, $\pm 4,6\%$ de F_0 , que equivale a 0,8 semitons (VIEIRA, 2004, p. 77).

Analisar as diferentes técnicas de *vibrato* violonístico não é tarefa trivial. As características acústicas do instrumento, como o excesso de transientes em seu ataque, a vibração das demais cordas por simpatia e o rápido decaimento das notas dificultam o emprego de análises de espectro simples, largamente usadas para analisar instrumentos como flauta, violino, ou a voz. Em uma análise de espectro realizada utilizando uma transformada rápida de Fourier ou STFT (*Short-time Fourier Transform*), diversos eventos indesejáveis podem camuflar os resultados, seja por problemas de ruídos na amostra ou pela pouca duração de alguns de seus harmônicos principais, levando a resultados cujos gráficos são de difícil interpretação. O problema foi descrito por Alexey Lukin e Jeremy Todd (2006): “Bancos de filtro com uma frequência de tempo fixa, tais como a STFT (*Short-time Fourier Transform*), são uma ferramenta comum para diversas análises de áudio e aplicações de processamento que permite uma implementação efetiva via *Fast Fourier Transform* (FFT). A resolução de frequência de tempo da STFT pode levar a

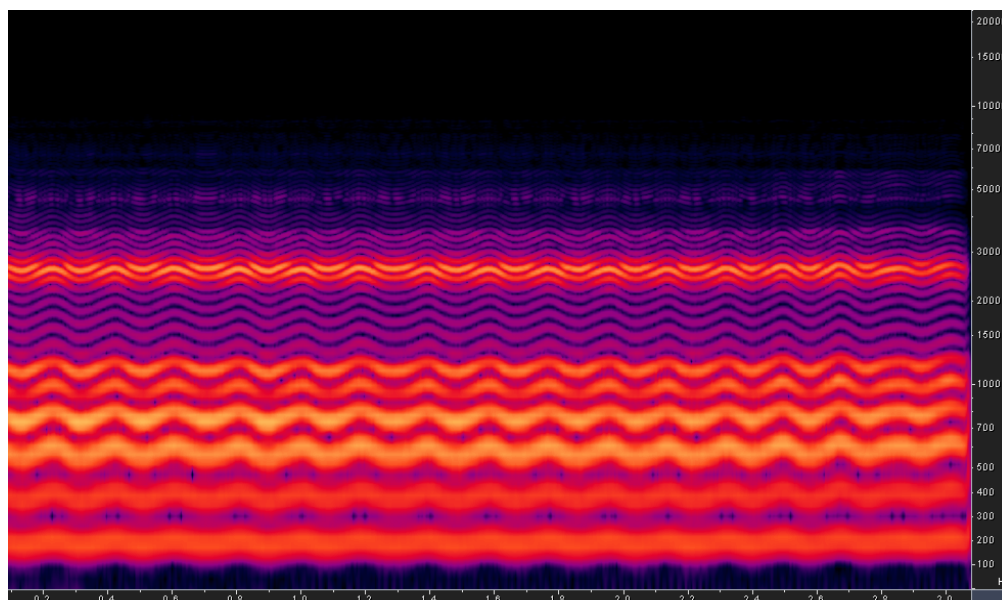
indesejáveis “manchas” no espectro, ocasionadas por pré-ecos nos transientes Tanto do tempo quanto da frequência” (LUKIN, 2006, p. 1. Tradução livre).⁶

Ao se comparar o espectrograma de uma nota no violão com o de uma nota gravada por um tenor, ambas com *vibrato*, pode-se perceber que, no caso do violão, os gráficos gerados não permitem que se visualize praticamente nada, inviabilizando a geração de informações como a taxa de *vibrato* e a profundidade do ornamento. No caso do tenor, isso já é possível, como mostra a figura 1.7:

Violão:



Voz



⁶ “Filter banks with fixed time-frequency resolution, such as the Short-Time Fourier Transform (STFT), are a common tool for many audio analysis and processing applications allowing effective implementation via the Fast Fourier Transform (FFT). The fixed time- frequency resolution of the STFT can lead to the undesirable smearing of events in both time and frequency.”

Eixo horizontal: tempo (s). Eixo vertical: frequência (hz).

Figura 1.7 – Espectrogramas de uma nota realizada com *vibrato* no violão e na voz, respectivamente, utilizando-se os mesmos parâmetros, como a mesma janela de FFT, etc. Problemas como o excesso de ruídos associados às características do som do violão provocam uma visualização não apropriada para a análise do *vibrato*, ao contrário da amostra com o tenor.

Uma solução para esse problema foi apontada por Lukin e Todd, que propõem um algoritmo adaptativo de análise, assim como uma redução de ruído que possibilite uma melhor visualização de amostras como a do violão (LUKIN; TODD, 2006).

Utilizando-se esse método, foi possível chegar a espectrogramas como os apresentados nas figuras 1.7 e 1.8. O único problema deste algoritmo é que, por sua recente publicação, ele apenas está implementado em um programa de demonstração, que não permite ao usuário a realização de *zooms* na amostra, impossibilitando, assim, uma análise mais profunda no sinal.

Outra característica do som do violão que influencia a extração de dados sobre o *vibrato* através de sonograma é a distribuição espectral do sinal. Ao contrário de outros instrumentos, o decaimento dos harmônicos superiores é muito rápido, dificultando, por exemplo, a visualização da profundidade do ornamento, visto que, nos harmônicos superiores, ela é proporcionalmente maior em frequência que na fundamental, como mostra a figura 1.8:

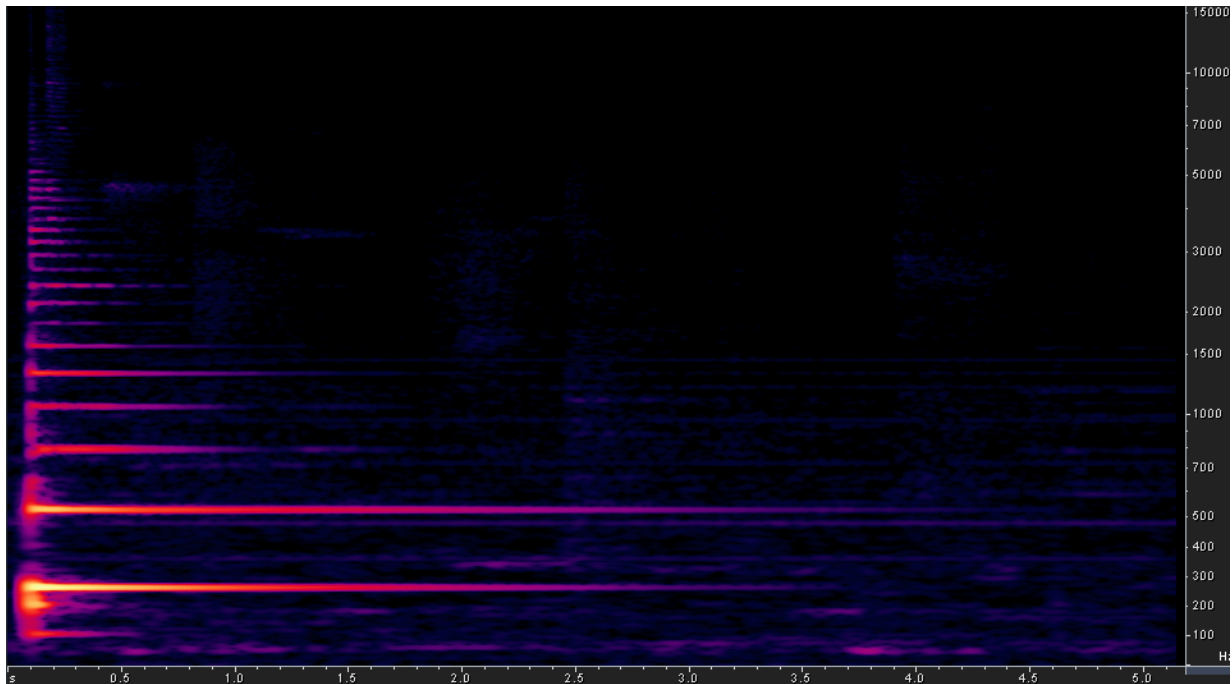


Figura 1.8 – Espectrograma de uma nota dó 259 Hz tocada sem *vibrato*. Os harmônicos 1 e 2 são os que possuem maior amplitude por toda a duração da nota.

Outro fator que pode mascarar análises espectrais, em notas do violão, é a vibração das demais cordas por simpatia, fator que pode provocar frequências indesejadas no espectro. Uma solução simples para esse problema foi proposta por Naveda (2002), que sugere que tiras de espuma sejam colocadas nas cordas não atacadas, a fim de se eliminar o efeito da vibração por simpatia, como mostra a figura 1.9:



Figura 1.9 – Abafadores de espuma, utilizados para diminuir as ressonâncias das cordas do violão (NAVEDA, 2002).

Para se extraírem de uma amostra dados como a taxa de *vibrato* e sua profundidade, softwares livres como PRAAT e SNDAN podem ser utilizados. Em estudo realizado por Moleants (2004), a taxa de *vibrato* do violão foi comparada à de outros instrumentos de corda por meio da utilização do software livre PRAAT.

Já o SNDAN, software livre desenvolvido por James Beauchamp (1993) trabalha com o método de *phase vocoder*, algoritmo que utiliza a FFT para converter cada bloco de amostras de áudio em uma representação de frequência e amplitude, como descrito no site do programa:

O PVAN, assim como o MGAN e todos os algoritmos de *phase vocoder*, utiliza o *Fast Fourier Transform* (FFT) para converter cada bloco de amostras de áudio para uma representação de amplitude/frequência. Para maior eficiência, o tamanho do bloco de análise (ou janela de análise) deve ser uma potência de dois, como, por exemplo, amostras de 128, 256 ou 512. Uma vez que é improvável que sinais físicos se encaixem de forma exata nesses tamanhos, o PVAN reorganiza as amostras baseando-se no valor da frequência para que, possivelmente, um ou dois períodos da *waveform* se encaixe perfeitamente. Isso assegura à análise a maior precisão possível. A análise FFT é preservada quando os dados são disponibilizados em seu formato mais completo, entretanto os dados não podem ser exportados diretamente para um formato diferente de *phase vocoder*. Ainda que os formatos numéricos sejam praticamente idênticos, um sintetizador baseado em um *phase vocoder* “cru”, sem o conhecimento

da taxa de conversão das amostras, criaria um som na frequência errada (NATIONAL OPEN STUDIO FOR DEVELOPMENT & RESEARCH IN ELECTRO-ACOUSTIC MEDIA, [s. d.], [s. p.]. Tradução livre).⁷

Com o SNDAN é possível dividir-se a amostra em gráficos separados para cada harmônico, tanto para a frequência quanto para a amplitude, facilitando-se, assim, a extração dos parâmetros de *vibrato*, desde que se saiba exatamente a frequência do harmônico fundamental da nota. Se bem utilizado, o software pode facilitar a visualização e a análise do *vibrato* no violão, funcionando como uma ferramenta complementar aos sonogramas.

1.4.1 O software PRAAT

O software PRAAT, criado por Paul Boersma e David Weenink, do Institute of Phonetic Sciences da Universidade de Amsterdam, é um programa desenvolvido inicialmente para se realizarem estudos de gravações de voz, mas pode também ser utilizado para se analisarem amostras de gravações de instrumentos musicais que não apresentam superposição de notas. A principal funcionalidade do software para a análise do *vibrato* está em sua capacidade de calcular a frequência fundamental do sinal com bastante precisão.

Através da utilização do PRAAT podem-se, então, analisar amostras de *vibrato* monofônicas gravadas em diversos instrumentos ou voz, tomando o cuidado para que tais amostras não contenham (ou contenham o mínimo possível) sons externos. O software já foi, inclusive, utilizado em pesquisas sobre o ornamento, como as realizadas por Dirk Moelants em 2004.

Moelants (2004) concentrou-se nas taxas de variação de três ornamentos: *trill* (trinado), *tremollo* e *vibrato*. Ancorado em estudos anteriores que definiram que uma

⁷ "Pvan, in common with mqan and all phase vocoder algorithms, uses the Fast Fourier Transform (FFT) to convert each block of audio samples to an amplitude/frequency representation. For efficiency, the size of the analysis block (the 'analysis window') must be a 'power of two', such as 128, 256 and 512 samples. Since physical signals are unlikely to fit these sizes exactly, pvan resamples the source, based on the value of frequency, so that hopefully one or two complete periods of the waveform will fit exactly. This ensures the greatest possible accuracy in the analysis. The full FFT analysis frame is retained when the data is written in 'full' format. However, the data cannot be directly exported to a different phase vocoder format. Though the numeric format may be virtually identical, a 'raw' phase vocoder based synthesizer, without knowledge of the sample rate conversion, would create a sound at the wrong pitch." Disponível em: <<http://dream.cs.bath.ac.uk/software/sndan/pvan.html>>. Acesso em: 20 maio 2014.

taxa “normal” para o *vibrato* seria de 6,5 Hz, Moelants realizou gravações com 56 músicos, todos tocando cada um dos três ornamentos em três velocidades: lenta, média e rápida, sendo estas realizadas de acordo com a concepção de cada sujeito. Analisando todas as gravações com o software livre PRAAT, o pesquisador chegou à conclusão de que, para todos os instrumentos, as taxas médias eram de 6.4 Hz, 9.3 Hz e 12.1 Hz para as velocidades lentas, médias e rápidas, respectivamente, sendo que, nos instrumentos de arco, as taxas eram consideravelmente mais altas que em instrumentos de corda pinçada (violão e alaúde), e de que as taxas, em notas graves, eram mais lentas que em notas mais agudas. Outros trabalhos também utilizaram o PRAAT como principal software para análise de *vibrato*, como pesquisas realizadas por Geringer (2004) e Macleod (2008), que trabalharam com amostras de violino e viola, por Dromey (2008), que analisou tanto o *vibrato* quanto o tremor vocal em um mesmo sujeito, entre outros trabalhos.

Na presente pesquisa, optou-se pelo uso do PRAAT pela possibilidade de se unificarem em um único programa todas as ferramentas de análise utilizadas, e também por seu algoritmo de cálculo da frequência fundamental. Como os sons do violão vão perdendo rapidamente energia nas faixas mais agudas logo após o ataque, é mais confiável usar um algoritmo que não se baseie nas variações de frequência de harmônicos mais altos, e sim nas variações das vibrações mais graves. Neste aspecto, o cálculo da frequência fundamental implementado no PRAAT se distingue dos comentados anteriormente, por não se basear na transformada de Fourier, e sim em uma representação no domínio da função de autocorrelação (*lag domain*).

Como em todo processamento digital de sons, o sinal de entrada é dividido em segmentos ou janelas menores, cujo tamanho depende da faixa de frequências esperadas. Cada uma dessas janelas de análise é multiplicado por outra janela de amplitude, que força seu início e final a terem o valor nulo (o PRAAT utiliza atualmente a janela gaussiana). Os possíveis candidatos à frequência fundamental (incluindo-se a opção de não vocalização) são calculados pela busca de máximos na função gerada pela divisão entre a função de autocorrelação do sinal e a função de autocorrelação da janela. Todos os passos necessários para esse cálculo estão descritos em Boersma (1993), que descreve as questões específicas de amostragem, uso de janelas de amplitude e cuidados com o uso da transformada de Fourier.

Neste mesmo software, cálculos e representações de espectrogramas, curvas dinâmicas e curvas de variação do centroide espectral são facilmente acessíveis ou implementados. Essas curvas podem indicar correlações entre essas variações de intensidade e espectrais com as variações de frequência e extensão do *vibrato*. Embora seja um programa desenvolvido inicialmente para se realizarem estudos em gravações de voz, o PRAAT pode também ser utilizado com eficiência para se analisarem amostras de gravações de instrumentos musicais que não apresentem superposição de notas.

A variação temporal da frequência fundamental também merece uma análise detalhada. Quando há uma regularidade dessa variação, pode-se falar em taxa de *vibrato*. Às vezes, essa regularidade se dá apenas em um trecho do sinal analisado, o que pode ser facilmente observado na curva de f_0 . Neste caso devemos isolar o trecho e calcular apenas para ele o valor da taxa de variação.

Outro aspecto relevante do *vibrato* é o modo de variação da frequência fundamental. José Eduardo de Carvalho Silva (2010), descreve em detalhes um método de análise de curvas de f_0 , através de sua análise espectral (SILVA, 2010). Neste trabalho também se utilizará esta ferramenta, em uma implementação no PRAAT.

Utilizaremos, como exemplos de aplicação dessas ferramentas, (a) uma nota sustentada por um tenor, extraída de uma gravação da “Nona Sinfonia de Beethoven”,⁸ e (b) uma nota de violão, extraída da seção inicial do “Prelúdio 4” de Villa-Lobos.⁹ No primeiro exemplo, trata-se da segunda nota cantada pelo músico (um mi 4, correspondente a 329,6 Hz), em sua primeira entrada no quarto movimento. No segundo exemplo, temos um si 2 (correspondente 123,5 Hz), escolhida nessa execução por apresentar uma taxa de *vibrato* bastante rápida. Nas figuras 1.10 e 1.11, podem ser vistos os espectrogramas e as trajetórias de amplitude, centroide espectral e frequência fundamental de cada nota.

⁸ O tenor é Keith Lewis. A gravação, de 1986, é regida por Günter Wand, com a Orquestra Sinfônica da NDR.

⁹ A gravação é de Julian Bream e a nota em questão se encontra no 21" de gravação disponível em <<http://www.youtube.com/watch?v=oA4oOLvKj4w>>. Acesso em: 24 junho 2014.

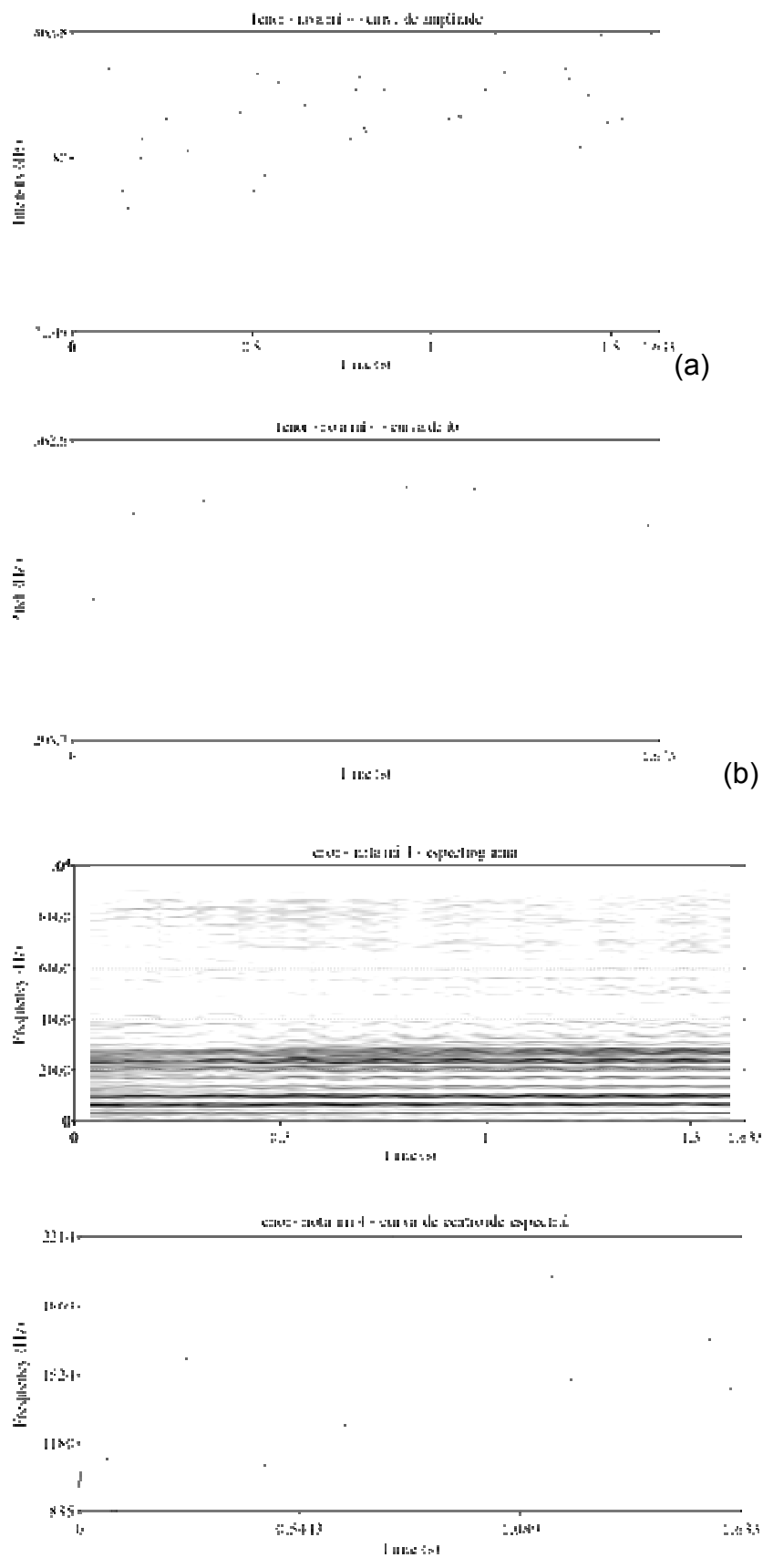


Figura 1.10: Curva de amplitude, espectrograma, curva de f_0 e curva de centroide espectral da nota mi 4, cantada por um tenor. Os gráficos foram gerados por mim no PRAAT utilizando gravações coletadas na internet.

A grande diferença tipológica entre os dois sons é claramente representada pelos gráficos (a) e (c) (amplitude e espectrograma): um deles é razoavelmente constante (há um fluxo energético por parte do executante durante todo o som), enquanto o outro se caracteriza por um ataque seguido de ressonância. O som do violão se inicia muito intenso e com energia distribuída por uma ampla faixa do espectro, e aos poucos vai perdendo intensidade e brilho.

Embora possa haver alguma correlação entre a intensidade da nota emitida pelo cantor e a realização do *vibrato*, este fato é mascarado pelo fato de se tratar de uma gravação com orquestra, contando com bastante reverberação. Por outro lado, pode ser observada uma grande correlação entre a curva de f_0 e a curva do centroide espectral do tenor. Se esta correlação pode ser explicada pela variação de frequência (que implica um aumento do centroide, mantendo-se a mesma distribuição espectral), no espectrograma pode-se ainda notar um aumento de energia nas frequências mais agudas no momento de aumento da frequência fundamental.

Há também certa correlação entre a curva de f_0 e a de centroide espectral no caso do violão, embora a curva do centroide tenha uma clara tendência descendente e a faixa de variação seja bem mais restrita.

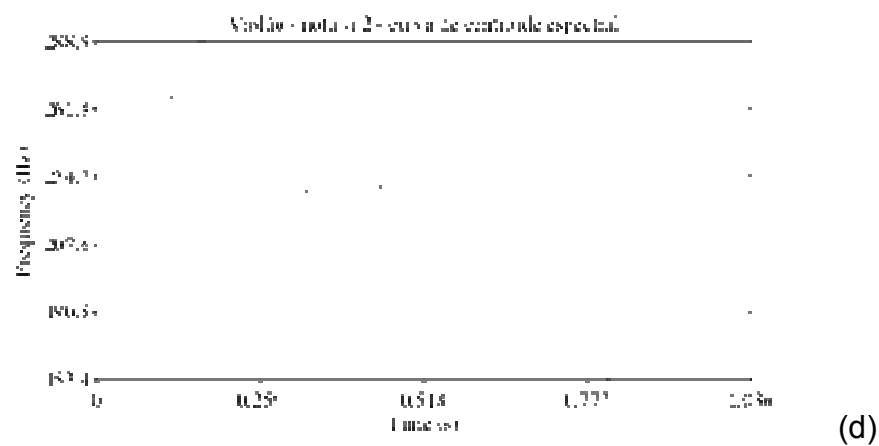
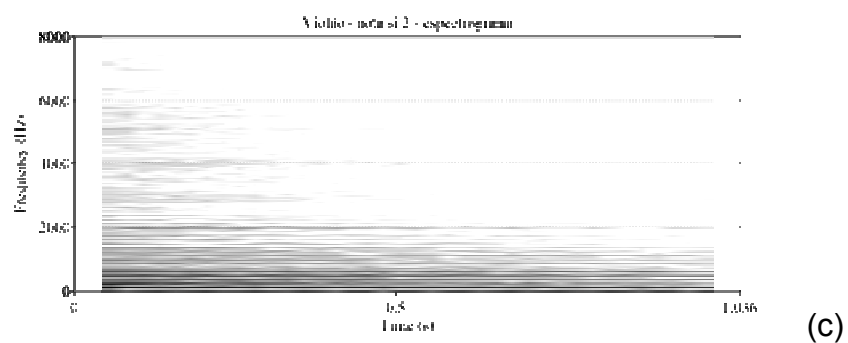
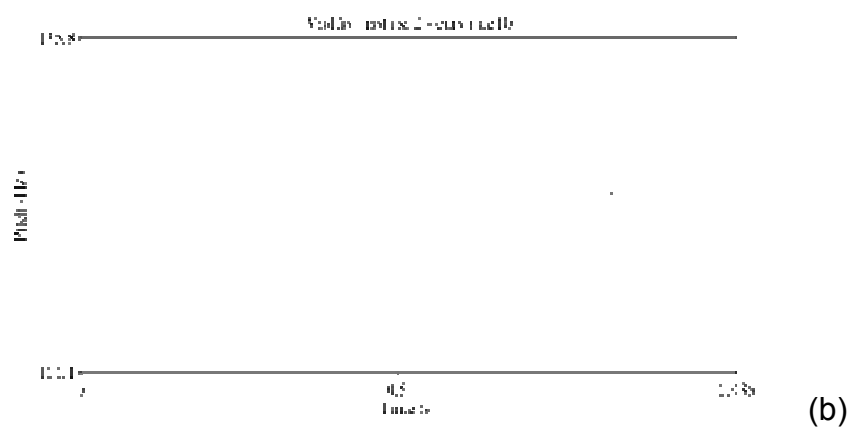
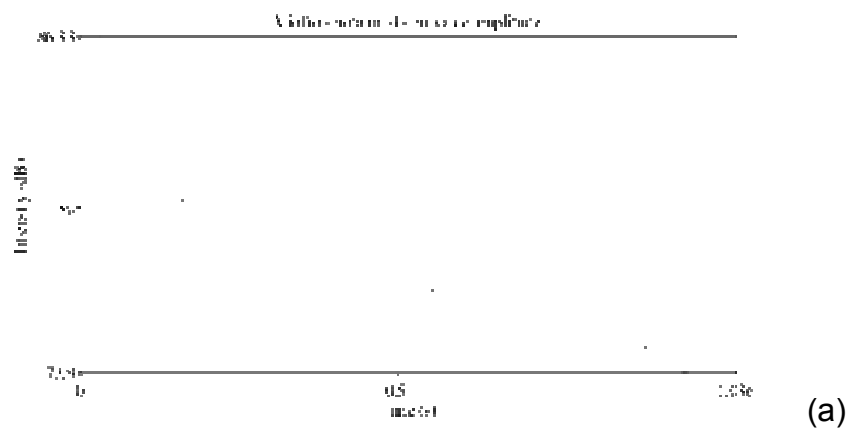


Figura 1.11: Curva de amplitude, espectrograma, curva de f_0 e curva de centroide espectral da nota si 2, tocada por um violão. Os gráficos foram por mim gerados no PRAAT utilizando gravações coletadas na internet.

Os gráficos relativos a f_0 foram feitos na mesma escala, em Hz, de modo a ilustrar outra diferença entre os dois sons: a amplitude de variação da frequência fundamental no caso da voz é bem maior do que no caso do violão. E, neste caso específico, a taxa de variação do violão é mais alta do que a da voz. Em termos numéricos, tem-se:

Tabela 1.1: Valores de frequência média, desvios superior e inferior e taxa de *vibrato* para os sons de um tenor e de um violão

som	frequência média (Hz)	desvio superior (cents)	desvio inferior (cents)	taxa de variação (Hz)
tenor	340,3	+87	-79	5,2
violão	124	+17	-14	7,3

Os cálculos e parâmetros utilizados serão tratados em detalhes no próximo capítulo. A título de ilustração, mostramos os gráficos dos espectros calculados para cada curva de f_0 , que possibilitaram o cálculo da taxa de variação.

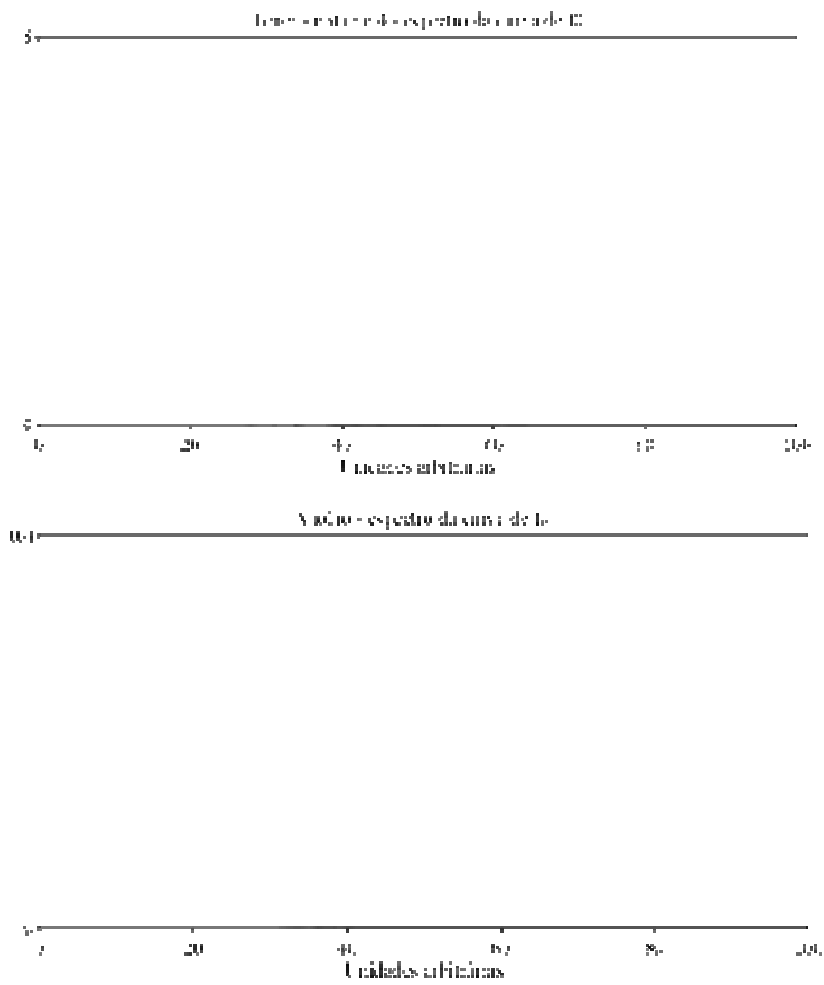


Figura 1.12: Espectros das curvas de f_0 relativas aos sons de um tenor e de um violão, nos quais se destacam os picos de frequência correspondentes às taxas de variação.

2 Aspectos históricos e acústicos do violão

Conhecer o instrumento violão, seus aspectos históricos e acústicos, é necessário para se estudar corretamente o funcionamento dos ornamentos no instrumento, em específico o *vibrato*. Este capítulo trata, portanto, de um pouco do histórico do instrumento e de suas principais características.

2.1 Breve histórico do violão

O violão, em sua configuração estrutural moderna, é o resultado de um aperfeiçoamento da antiga guitarra de seis ordens do início do século XIX. Esse desenvolvimento iniciou-se na segunda metade do século XIX, impulsionado por Antonio de Torres Jurado (1817-1892):

Torres aumentou as dimensões totais do instrumento e estabeleceu a medida de 65 cm para o comprimento de vibração; ele desenvolveu o sistema de leques introduzido por seus predecessores em Sevilha e Cádiz, utilizando-se de um sistema de sete leques que se encontram embaixo da cavidade do instrumento, com dois outros leques localizados tangencialmente na parte de baixo (TURNBULL, 2001. p. 566. Tradução livre).¹⁰

O desenvolvimento do leque de varetas aumentou a rigidez do tampo, permitindo uma redução em sua espessura e peso (NAVEDA, 2002, p. 41).

As origens do violão são pouco claras. Até o final do século XVIII, há relatos de diversos instrumentos denominados *guitar*. A maioria desses instrumentos tinha o mesmo formato do corpo dos violões modernos, com as cordas dispostas em ordens simples ou compostas e em afinações diversas (TURNBULL, 2001).

Uma das teorias identifica a origem das guitarras na Europa, no antigo instrumento grego *kithara*, talvez pela relação etimológica entre *kithara* e guitarra. Outra tendência é a de se associar seu surgimento aos alaúdes de braço longo da antiga Mesopotâmia e de Anatólia ou aos *Coptic lutes* do Egito. A maior controvérsia

¹⁰ “Torres increased the overall dimensions of the instrument and established the vibrating length of the strings at 65 cm; he developed the fan-strutting system introduced by his predecessors in Seville and Cádiz, using a system of seven struts radiating from below the soundhole, with two further struts lying tangentially below the ‘fan’.”

em relação ao desenvolvimento das guitarras reside em saber se sua origem é europeia, ou se foi introduzida na Europa medieval pelos árabes (SADIE, 2001).

Diversos instrumentos de cordas pinçadas coexistiram na Europa medieval, como o alaúde, a vihuela e as guitarras, contribuindo para a existência do violão. HOEK (1977) propôs um quadro evolutivo que começa nos antepassados do alaúde até o violão do século XX, traduzido por NAVEDA (2002, p. 15):

Origem das guitarras e alaúdes

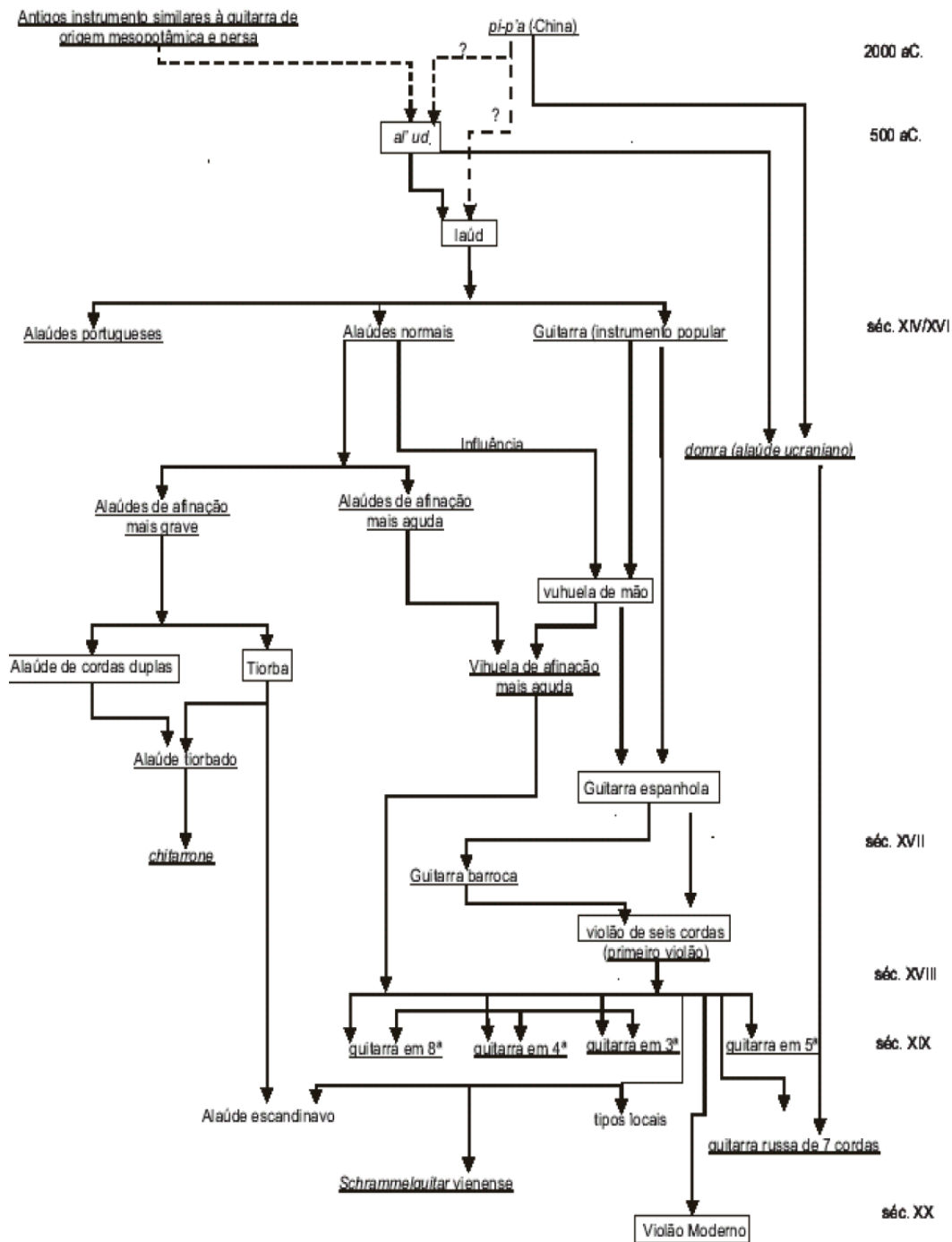


Figura 2.1: Quadro evolutivo da família do violão (NAVEDA, 2002).

O violão moderno herdou características de vários destes instrumentos, sendo um de seus principais ancestrais, como citado anteriormente, a guitarra de seis ordens, que, após melhorias em sua construção e a mudança de cordas duplas para cordas simples, aproximou-se da forma atual do violão.

No século XIX, esse instrumento viu crescer sua popularidade na Europa (DUDEQUE, 1994; NAVEDA, 2002), e grande parte das publicações de música para violão no período destinava-se à demanda de um novo público, “com maior poder aquisitivo e nível cultural [...]” (NAVEDA, 2002, p. 27). Segundo Turnbull, a crescente popularidade do instrumento: “está na facilidade com que se podia fazer um acompanhamento simples para uma canção, e muitos dos professores limitavam-se a demonstrar as habilidades fundamentais para que isso fosse alcançado” (TURNBULL, 2001, p. 566. Tradução livre).¹¹

No final do século XIX, o violão experimentou um declínio em seu uso. Tal declínio é normalmente associado a um aumento do uso do piano. Viglietti argumenta que “o piano havia substituído as espinetas e os virginais do século XVIII. As orquestras filarmónicas estavam se tornando cada vez maiores com uma incomum preponderancia” (VIGLIETTI, 1976, p. 103. Tradução livre).¹²

A pequena projeção sonora do violão ante os instrumentos mais modernos pode ter contribuído para isso. A necessidade de se ampliar a projeção sonora e a busca de uma sonoridade específica impulsionada por um novo estilo de composição provocou uma reflexão sobre os aspectos técnicos da execução. Um dos responsáveis por essas transformações foi Francisco Tárrega (1852-1909), cujos méritos “são inquestionavelmente importantes: destaca-se seu profundo conhecimento orgânico do violão, que lhe permitiu mostrar ao mundo novos recursos técnicos, timbres e outros efeitos que ampliaram a atratividade do instrumento” (VIGLIETTI, 1976, p. 103. Tradução livre).¹³

Outras modificações técnicas, como o uso das unhas e o toque *apoiado* são aplicadas na técnica do violão moderno, visando a um aumento no volume

¹¹ “lay in the ease with which one could manage a simple accompaniment to a song, and many of the practical tutors were limited to expounding the fundamental skills needed to achieve this”.

¹² “[...] el piano había desplazado a las espinetas e virginales del siglo XVIII. Las orquestras filarmónicas se estaban haciendo cada vez más grandes con uña non común preponderancia de los metales.”

¹³ “Los méritos de Tárrega son incuestionablemente importantes: destacase su profundo conocimiento orgánico de la guitarra en si misma, que le permitió aportar al mundo nuevos recursos técnicos, timbres y otros efectos que ensancharon la atracción hacia el instrumento [...]”.

(DUDEQUE, 1994). Esses recursos diferem significativamente das práticas da antiga guitarra de seis ordens. São inovações técnicas que se vinculam a uma configuração estrutural acusticamente mais proveitosa e que levaram o instrumento a um renascimento no século XX (VIGLIETTI, 1976).

Atualmente, o violão moderno é construído utilizando-se madeiras diferentes, entre as quais as mais comuns são o abeto, utilizado na construção do tampo; o cedro canadense, utilizado na construção do braço; o jacarandá, para laterais, fundo e escala. Já os trastes são feitos de metal e fixos na escala. Antes, eram de tripa, podendo ser eventualmente retirados e movimentados para satisfazer a outras afinações. As cravelhas de madeira, por sua vez, foram substituídas pelo sistema de tarraxas construídas em metal e plástico, para uma melhor afinação.

2.2 Aspectos acústicos do violão moderno

Segundo Rossing (2007) todos os instrumentos produzem som através da excitação de uma estrutura vibrante, mas no caso dos instrumentos de corda, esta irradiação é indireta, pois a estrutura vibrante (a corda) produz uma quantidade muito pequena de energia. Portanto, a vibração produzida pela corda deve ser transferida para uma área maior e acusticamente eficiente, como os tampos dos instrumentos.

No violão, o som é produzido pela vibração das cordas, que passa para a ponte e o tampo superior, sendo depois transferido para o tampo inferior e refletido até o ouvinte. O tampo superior faz o principal papel na transferência dessas vibrações para o ar. No entanto, no instrumento, existe uma variação significativa nos caminhos percorridos por tais vibrações. Essa variação ocorre em razão das diferenças das frequências das vibrações, como se pode observar no esquema a seguir:

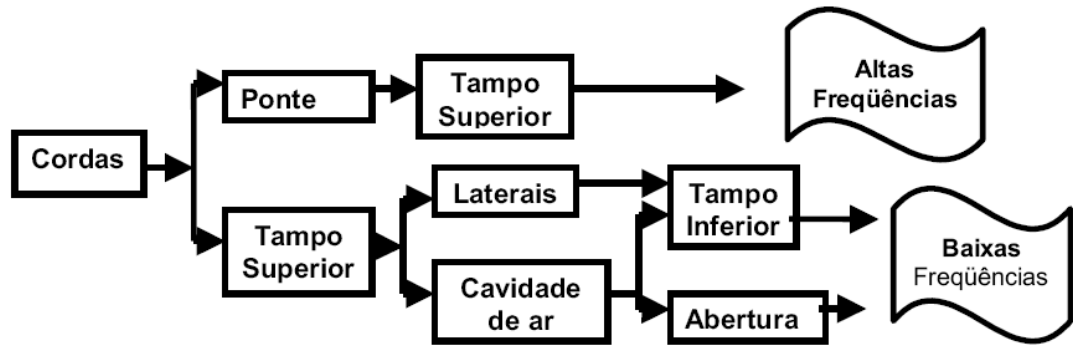


Figura 2.2 - Modelo físico proposto por ROSSING (1990) e traduzido por NAVEDA (2002).

O caminho percorrido por baixas frequências é mais longo que o percorrido por altas frequências, não sendo estas, por isso, irradiadas para o tampo inferior. A forma com que a ponte atua na transferência dessas vibrações também varia: Em frequências baixas, a ponte participa como parte integrante do tampo superior quando este transfere a energia para o tampo inferior. Em frequências altas, a ponte atua como principal transmissor de energia das cordas para o tampo superior, desvinculando-se então da estrutura do tampo (NAVEDA, 2002).

2.2.1 As cordas

O violão moderno utiliza cordas mistas, sendo três delas fabricadas com nylon e as outras três fabricadas com fios de nylon recobertos por metal trançado ou enrolado em espiral em torno do núcleo. Tais cordas substituíram as antigas cordas de tripa de carneiro, utilizadas anteriormente, e possuem timbres bem característicos.

Segundo Maciel *et al.* (2001), no violão, as notas musicais são obtidas através das frequências naturais de oscilação das cordas, dadas pela equação de Euler-Lagrange:

$$f_n = \frac{n}{2.L} \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad \text{(equação 1)}$$

Figura 2.3: "Nesta expressão, $n = 1, 2, 3, \dots$ é o número do harmônico, L é o comprimento, T é a tração e μ é a densidade linear do seguimento vibrante. A nota musical atribuída a cada corda é definida pela frequência do primeiro harmônico ($n = 1$). Diferentes notas musicais são obtidas em uma mesma corda no violão pela variação do comprimento do segmento vibrante, alterando a "posição" de um dos extremos da corda, pressionando-a entre dois trastes. A cada traste a nota emitida varia um semitom" (MACIEL, 2001, p. 1).

A tração das seis cordas do violão é basicamente a mesma (aproximadamente 50N), fazendo com que, em razão das diferentes densidades de cada corda (obtidas pelo material e espessura de cada uma delas), uma nota específica seja gerada pelo esticamento de cada corda (MACIEL, 2001). A afinação mais comum para o violão de seis cordas está especificada a seguir:

- primeira corda (nylon) = 330hz (nota mi 4);
- segunda corda (nylon) = 247hz (nota si 3);
- terceira corda (nylon) = 196hz (nota sol 3);
- quarta corda (aço) = 147hz (nota ré 3);
- quinta corda (aço) = 110hz (nota lá 2);
- sexta corda (aço) = 82hz (nota mi 2).

A vibração de uma corda no violão pode ser considerada como um modelo de onda estacionária, que se formam a partir de uma superposição de duas ondas idênticas, mas em sentidos contrários, pois as duas extremidades da corda se encontram fixas no corpo do instrumento. Tal onda é caracterizada por pontos fixos de valor zero (nodos) e pontos de valor máximo também fixos (antinodos):

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 (NAVEDA, 2002, p. 47).

Rossing (1990) propõe o seguinte modelo de representação de ondas estacionárias:

N - Nodos

Antinodos

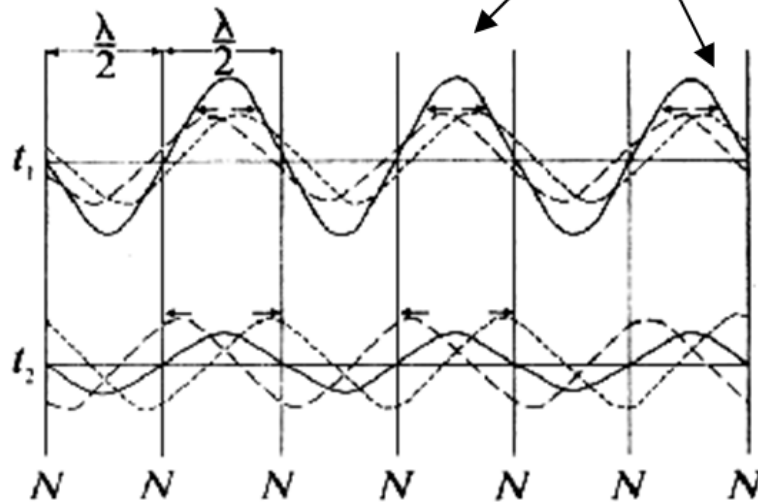


Figura 2.3 - Nodos e antinodos em ondas estacionárias (ROSSING, 1990, p. 39 *apud* NAVEDA, 2002, p. 46).

Ao se dedilhar uma corda do violão, é gerada uma vibração que é uma combinação de vários modos próprios da corda. Segundo Henrique (2002), o ponto onde a corda é atacada tem grande influência nas combinações dos modos de vibração dessa corda. Se a corda é atacada em seu ponto médio ($1/2$), estarão contidos na vibração resultante o som fundamental e os harmônicos de ordem ímpar. Como a onda estacionária que corresponde ao segundo harmônico possui um nodo de vibração no meio da corda, o mesmo ponto em que a corda é percutida, o desenvolvimento deste modo de vibração fica impossibilitado (assim como nos demais harmônicos pares), como mostra a figura a seguir:

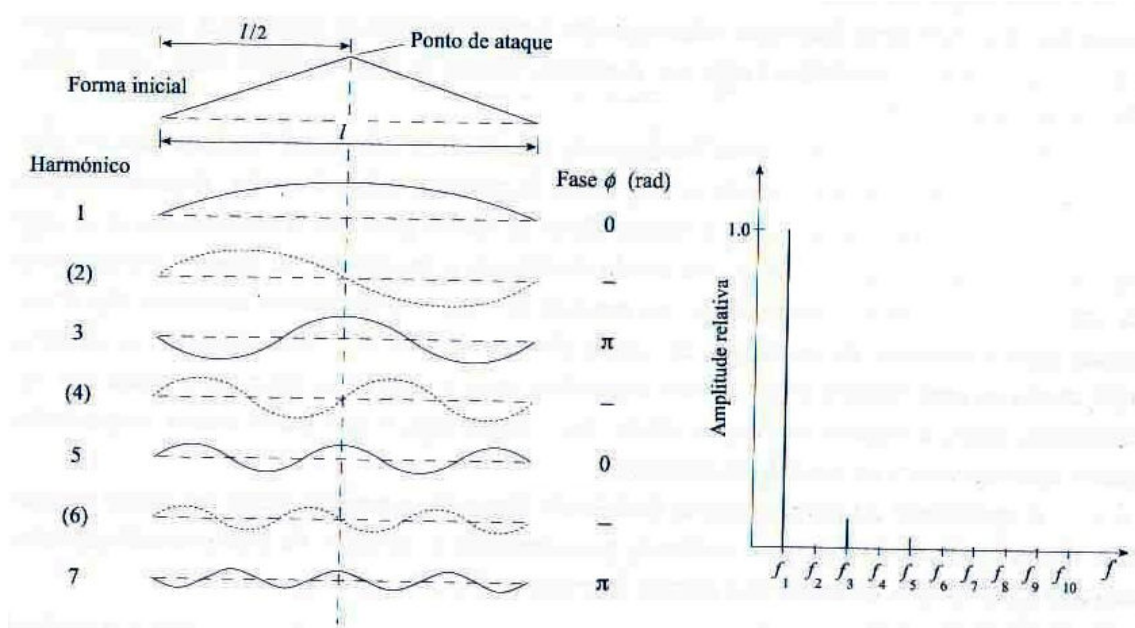


Figura 2.4 - Modos de vibração simultânea em uma corda percutida na metade de seu comprimento. Nota-se a presença forte da fundamental e a aparição dos harmônicos ímpares, mas com baixa amplitude (HENRIQUE, 2002, p. 399).

Isso significa que, ao tocar no meio da corda, o instrumentista enfatiza muito a presença da fundamental e dos harmônicos de oitava (mesma nota, mas com frequências no dobro do valor, etc.), criando um timbre característico. Caso a região atacada seja diferente, outros harmônicos serão excitados, modificando drasticamente o timbre percebido. Se a região da corda tocada corresponder, por exemplo, a um quinto da corda ($1/5$), os harmônicos que possuem nodos neste ponto são os de número 5 e 10, portanto não poderão vibrar. Os demais harmônicos, principalmente de 1 a 7 (excluindo-se o quinto), vibrarão livremente e vão se somar na “construção” do timbre da nota tocada (HENRIQUE, 2002), como mostra a figura a seguir:

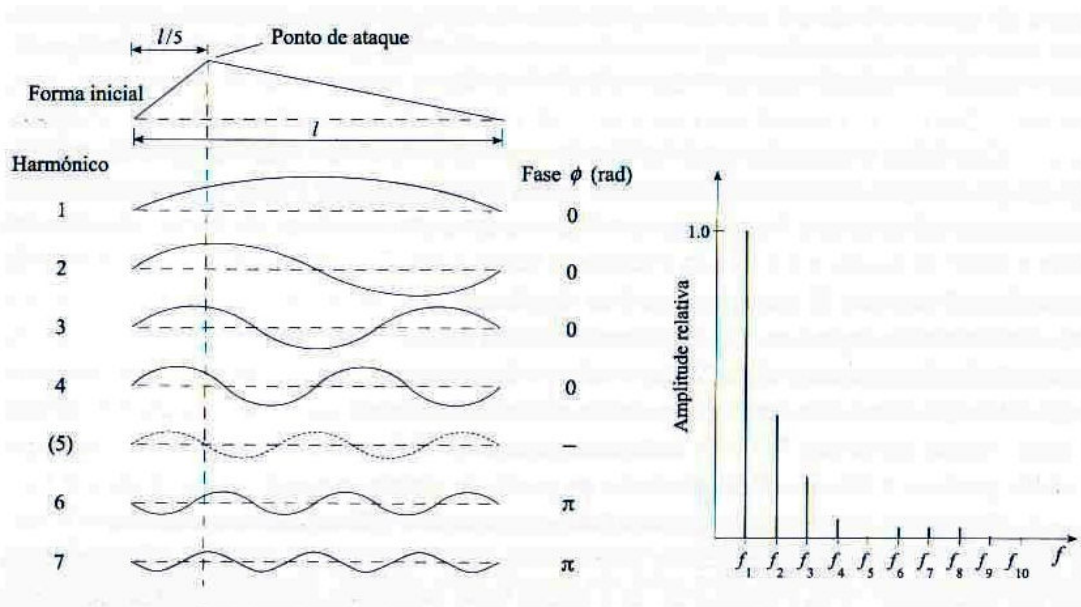


Figura 2.5 - Modos de vibração simultânea em uma corda percutida no ponto que representa $1/5$ de seu comprimento. Nota-se a presença forte da fundamental e a aparição dos harmônicos 2, 3, 4, 6 e 7, com amplitude menor que a fundamental, mas não imperceptível (HENRIQUE, 2002, p. 400).

Portanto, à medida que o toque na corda se aproxima da ponte do instrumento, a quantidade de parciais agudas aumenta; e, à medida que o toque se aproxima do meio da corda, são priorizadas as parciais mais graves. O timbre do instrumento sofre, então, grande variação apenas mudando a região onde a corda é tocada (NAVEDA, 2002).

A região de ataque da corda foi alvo de estudo realizado por Traube e Smith (2000), que buscaram desenvolver um sistema capaz de detectar a região onde a corda foi percutida, utilizando análises computacionais de amostras de áudio. Segundo os autores, a região onde a corda é atacada possui grande influência no timbre, fazendo com que a escolha da digitação de mão esquerda (o lugar no braço do instrumento em que determinada nota deve ser tocada) também passe a integrar essa escolha, visto que algumas notas no violão podem ser tocadas em diferentes posições e cordas.

Dentre os parâmetros que se podem destacar, a posição de ataque na corda tem grande influência no timbre. O dedilhado da mão esquerda também é crucial. Na verdade, há duas maneiras de se tocarem acordes ou melodias. Um tipo de dedilhado será escolhido de acordo com a facilidade de execução ou porque soa de uma forma específica e desejada para a ocasião. Alguns tons podem ser tocados no violão com até cinco combinações diferentes de cordas e trastes. Assim, se a gravação for a única informação disponível, o dedilhado ou posição utilizado pelo

instrumentista não é sempre óbvia ou aparente (TRAUBE; SMITH, p. 1. Tradução livre).¹⁴

Ao serem tocadas, as cordas do violão podem vibrar em três direções: *transversal*, *longitudinal* e *torsional*. O modo *transversal* é um dos mais importantes para a excitação da corda, e os demais pouco contribuem para a produção do som do instrumento (NAVEDA, 2002):

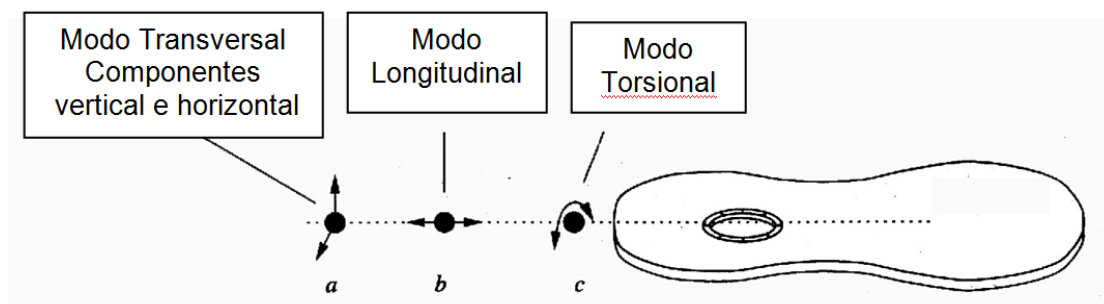


Figura 2.6 Tipos de vibração da corda do violão (TOLONEN, 1998, p. 12 *apud* NAVEDA, 2002).

Outro fator importante no som e timbre do instrumento está relacionado à forma com que a corda é tocada. O violão possui diversas técnicas de ataque diferentes, e cada uma delas influencia o timbre do instrumento. Segundo Henrique (2000), o ataque no violão pode ser feito de duas maneiras: utilizando-se a unha ou com a polpa do dedo. Estes dois ataques geram resultados timbrísticos bem diferentes: em ataques com a unha a nota possui um espectro resultante com mais parciais agudas, enquanto no toque com a polpa do dedo o espectro resultante possui uma quantidade menor destas parciais, ficando então com um timbre mais “escuro” (HENRIQUE, 2000).

Segundo Naveda (2002), diferentes formas de “atacar” as cordas do violão influenciam não só o timbre do instrumento, mas também o volume percebido. É possível, variando as formas de se atacarem as cordas, variar inclusive a quantidade de transientes (ruídos) presentes no início da nota tocada. Ataques do tipo

¹⁴ “Among the parameters that can be extracted, the plucking point position on the string has a major influence on the timbre nuance. The left hand fingering is crucial too. In fact, there are different ways to finger chords or play melodies. A particular fingering will be chosen because it is optimal, efficient and easy to hold, or because it sounds in a particular and desired way. Some tones on a guitar can be played with up to five different combinations of string/fret. So, if a recording is the only information available, the fingering that was used by a particular performer is not always obvious or apparent.”

“apoiado”, em que o violonista ataca a corda com mais energia apoiando os dedos posteriormente na corda acima, são mais sonoros que ataques “tirando”:

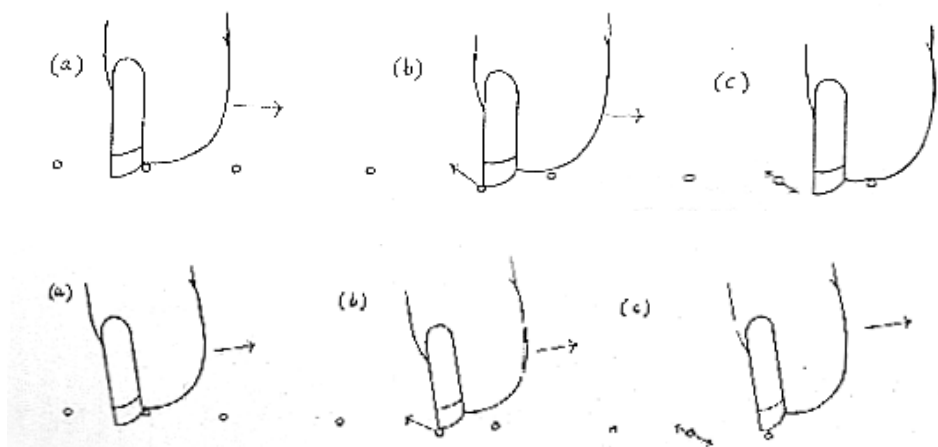


Figura 2.7 - Tipos de ataque "apoiado" e "tirando" (TAYLOR, 1990 *apud* NAVEDA, 2002).

2.2.2 O tampo harmônico

O tampo superior do violão possui uma espessura de aproximadamente 1,8mm. Para ajudar na sustentação e rigidez do tampo, pequenas barras de madeira são nele coladas para reforçar a estrutura, num sistema conhecido como leque do violão. Diferentes posições/desenhos de leques podem gerar respostas diferentes no tampo, contribuindo para o som final do instrumento. Os leques mais comuns, segundo Naveda (2002), são: a) leque tradicional; b) Bouchet (França); c) Ramirez (Espanha); d) Leque atravessado.

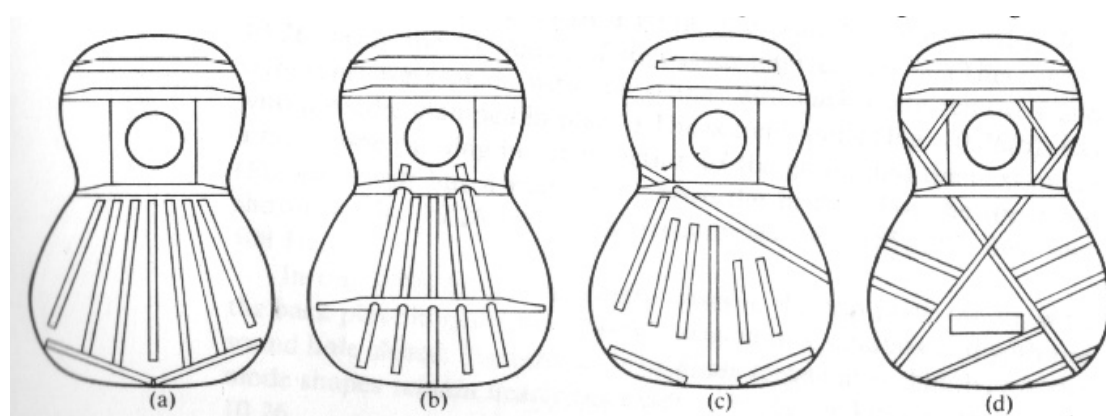


Figura 2.8 - Principais tipos de leque : a) leque tradicional; b) Bouchet (França); c) Ramirez (Espanha); d) Leque atravessado (ROSSING, 1990 *apud* NAVEDA, 2002).

A vibração das cordas do violão é transferida para o tampo do instrumento pelo cavalete, peça que se encontra colada no mesmo, e é através da vibração do tampo (que funciona como um autofalante) que tais vibrações são amplificadas e transmitidas para o ar. O tampo do violão possui seus próprios modos de vibração, são individuais e atuam ao mesmo tempo com amplitudes diferentes. Cada modo pode ser relacionado com uma frequência de ressonância:

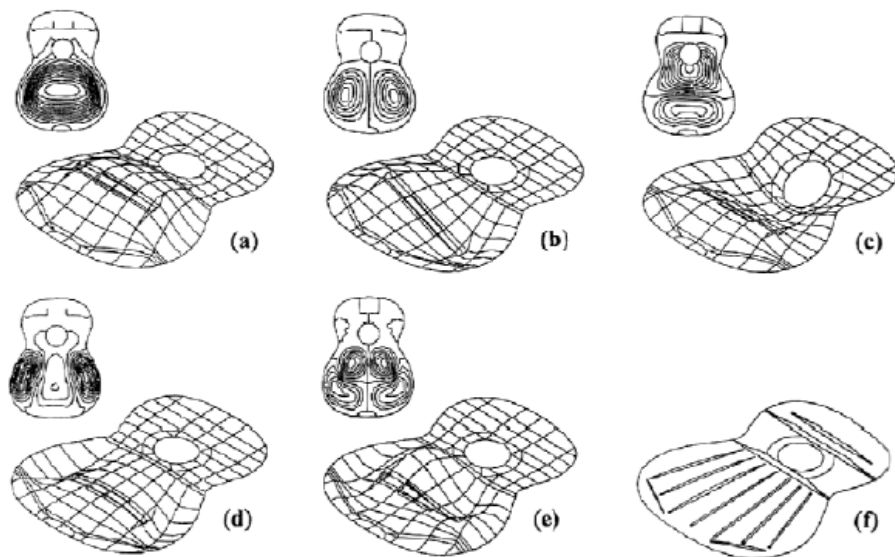


Figura 2.9 - Contornos dos cinco primeiros modos de vibração do tampo superior do violão. O leque utilizado para o cálculo dos movimentos é descrito na figura (f). O movimento descrito está exagerado para melhor visualização, sendo o movimento real da ordem de micra (RICHARDSON, 1994, p. 4 *apud* NAVEDA 2002).

Uma característica observada nesses modos de vibração é o fato de todos eles se concentrarem após a boca do violão, o que mostra que a parcela do tampo colada no braço do instrumento pouco influi nesses modos, talvez pela rigidez do braço do instrumento. A figura a seguir ilustra com mais nitidez as diferenças entre a parte do tampo que se localiza mais perto do braço e a que está mais perto da ponte:

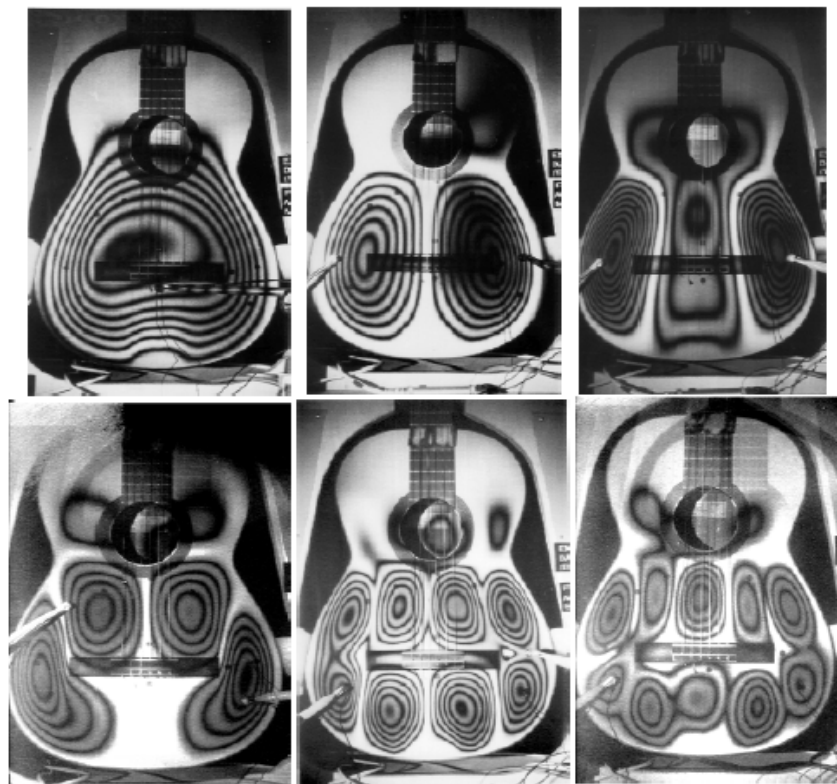


Figura 2.10 - Análises dos modos do violão (RICHARDSON (1994)).

Modificações no leque do violão e nos tipos de madeira usados em sua construção podem influir tanto no timbre do instrumento quanto em seus modos de vibração, sendo o violão, por isso, um instrumento ainda mais complexo e individual.

2.2.3 O Ressonador de Helmholtz

Ressonância de Helmholtz é o fenômeno relacionado à passagem de ar por uma cavidade que, por conta disso, ressoa. O ato de se soprar em um gargalo de uma garrafa pode gerar tal efeito. Quando o ar é forçado em uma cavidade, a pressão interna aumenta. Quando a força externa que empurra o ar nesta cavidade é removida, o ar comprimido na parte interna sairá, fazendo com que a cavidade fique com a pressão interna levemente menor que a externa, fazendo com que o ar seja “sugado” para dentro novamente. Este processo se repete diversas vezes, com a magnitude da variação de pressão decrescente após cada vez. O ar na entrada da cavidade (chamada de “pescoço” da câmara) possui massa, e, como está em movimento, também possui momento. Uma cavidade maior possuirá maior massa e vice-versa. O diâmetro da cavidade está relacionada com a massa de ar e o volume da câmara. Uma cavidade muito pequena em área para o volume da câmara

provocará um “enforcamento” do fluxo de ar, enquanto uma cavidade muito grande em área tende a reduzir o momento desse ar no pescoço da câmara (CHANAUD, 1994).

Existem tipos diferentes de ressonadores, como podemos observar na figura a seguir:

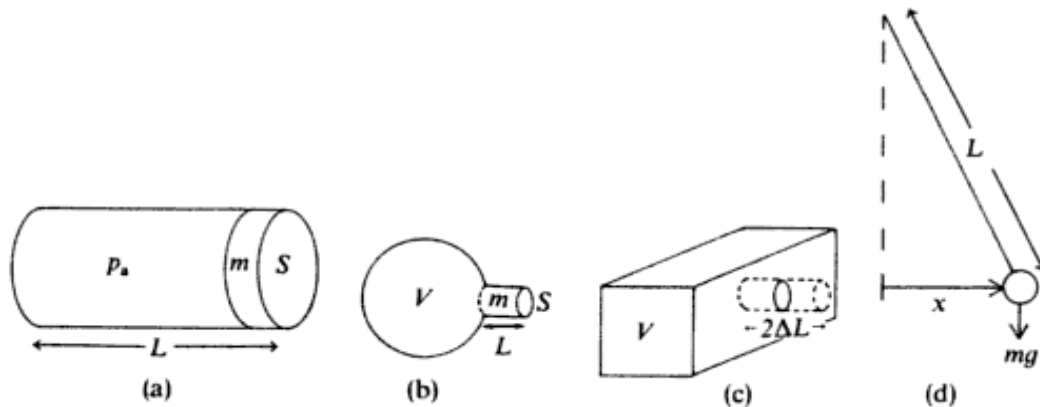


Figura 2.11- Sistemas de vibração simples (a) pistão num cilindro; (b) ressonador de Helmholtz "com pescoço"; (c) ressonador de Helmholtz "sem pescoço"; (d) Pêndulo simples (FLETCHER, 1998 p. 14).

O ar dentro do violão, por conta da cavidade do tampo do instrumento, localizada próxima ao fim da escala do instrumento no tampo superior pode funcionar, em algumas situações, como um ressonador de Helmholtz, do tipo “sem pescoço”. O tamanho da cavidade no corpo do instrumento pode alterar a frequência de vibração do ressonador. Tal efeito está relacionado com a produção de frequências baixas no violão, como demonstrou Ra Inta (2007) em seu trabalho com um violão de aço. O violão, neste caso, funcionaria como um sistema massa-mola, em que a “mola” seria o ar dentro do instrumento, e a “massa”, o ar localizado na região da cavidade do instrumento:

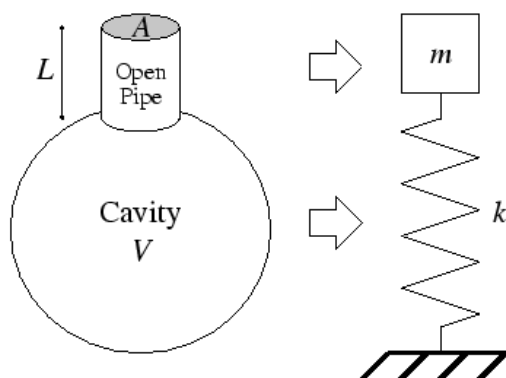


Figura 2.12 - Ressonador de Helmholtz representado como um sistema massa-mola (Fonte: https://ccrma.stanford.edu/CCRMA/Courses/150/vibrating_systems.html).

Uma das hipóteses levantadas pela aparição de uma variação de frequência (nas notas graves) do *vibrato* de boca, está relacionada com o funcionamento do violão como um ressonador de helmholtz, pois o movimento da mão próximo à boca do instrumento poderia variar a massa desse sistema oscilatório.

2.3 Tipologia dos *vibratos*

Esta seção descreve os principais tipos de *vibratos* mencionados na literatura e na prática violonística. Os tipos longitudinal, transversal e de boca têm uma característica em comum: a variação periódica da frequência fundamental. Mas eles também apresentam diferenças importantes entre si, tanto na forma de execução e na resultante sonora, quanto nos princípios físicos envolvidos.

Para ilustrar os dois principais tipos de *vibrato* (longitudinal e transversal), largamente utilizados e com execução viável em boa parte da extensão do instrumento, utilizaremos uma mesma nota tocada na corda 5: fá# 3 (frequência nominal de 185 Hz). O *vibrato* de boca será ilustrado pela nota sol 2 (98 Hz), na corda 6, já que no instrumento utilizado o *vibrato* nesta nota é bastante acentuado. Na segunda parte da dissertação, discutiremos experimentos relacionados a esses três tipos de *vibrato*. Os demais tipos (de tampo e em corda solta) serão apenas comentados nesta seção.

2.3.1 O *vibrato* longitudinal

Uma das técnicas mais utilizadas pelos violonistas consiste no movimento alternado da mão esquerda na direção da corda, como define o violonista Daniel Wolff, no primeiro volume do periódico da Associação Gaúcha do Violão: “A mão alterna movimentos para a direita e a esquerda no sentido longitudinal da corda, alterando o som para o grave e o agudo respectivamente” (WOLFF, 1999, [s. p.]).

A técnica do *vibrato* longitudinal tem a limitação de se realizar apenas em notas presas, pois depende do movimento do dedo. Os trastes também podem

restringir o grau de “esticamento” e relaxamento da corda, visto que, para essa técnica, o movimento é realizado ao longo dela, como mostra a figura a seguir:

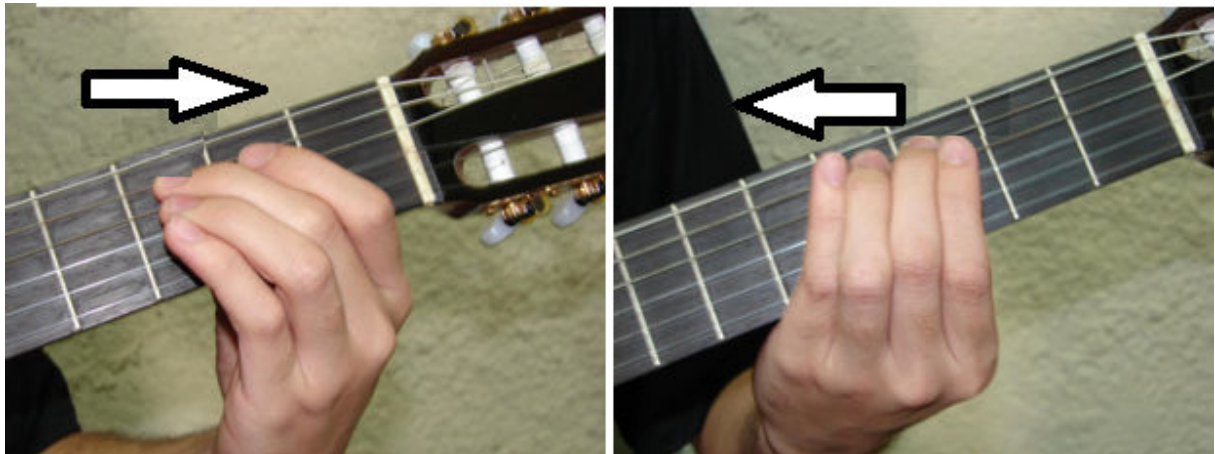
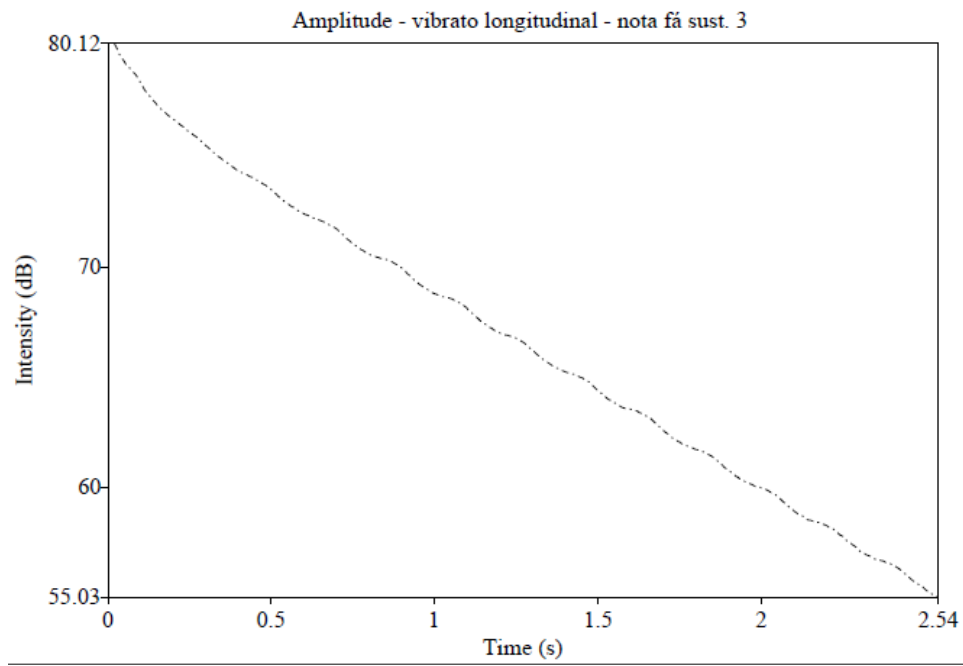
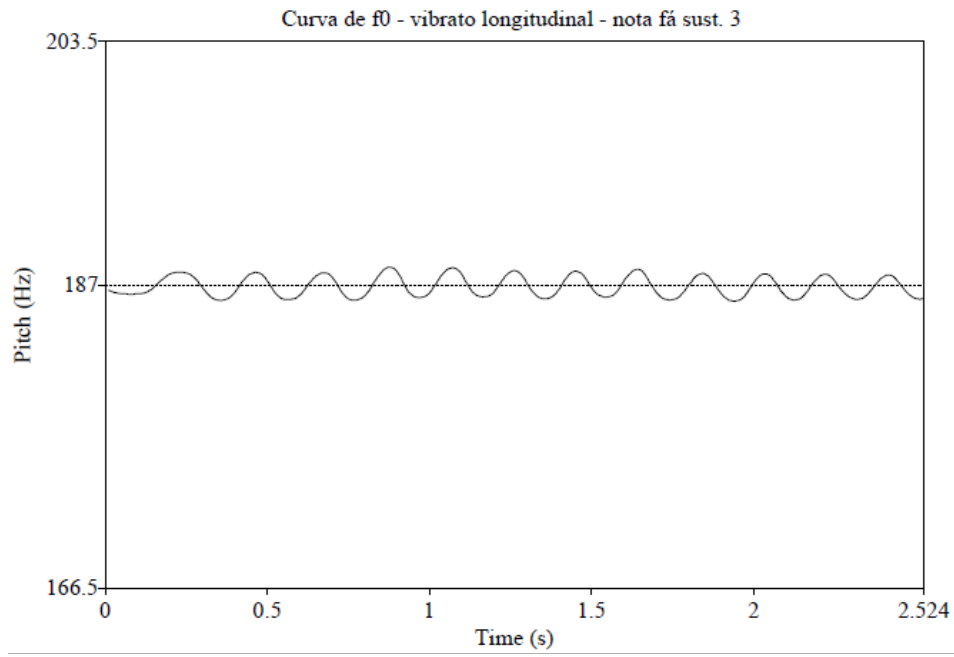
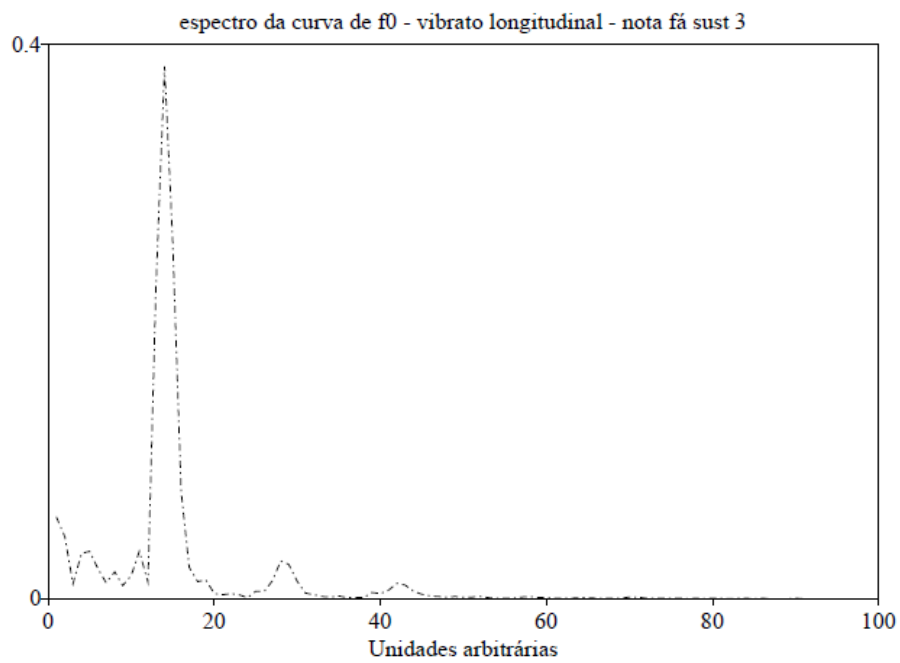
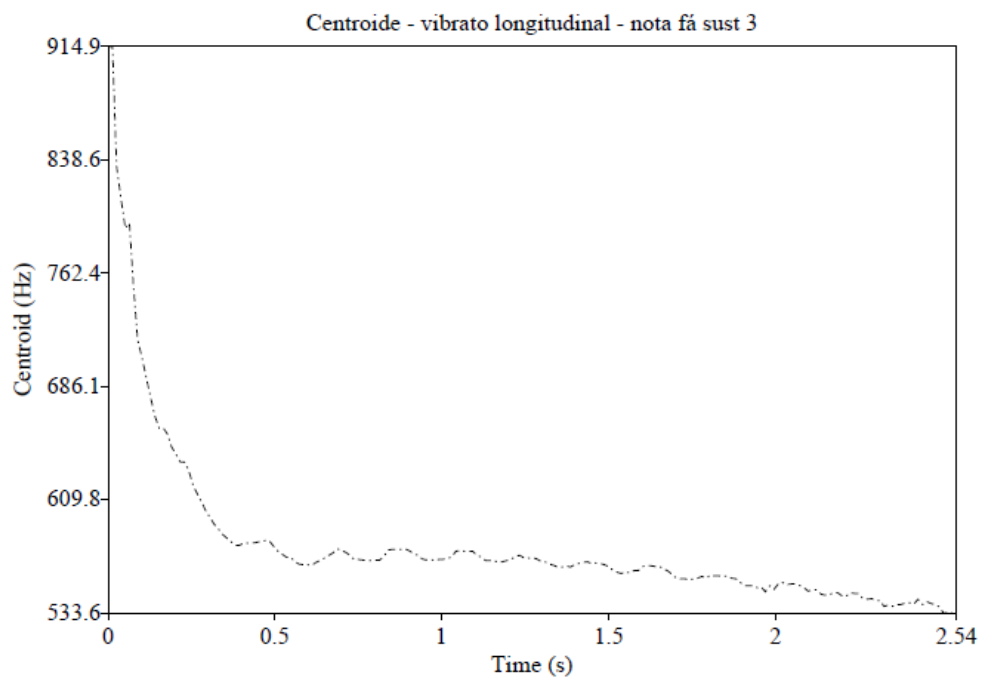


Figura 2.13 – *Vibrato* Longitudinal, realizado pelo dedo médio na terceira casa da quinta corda (de baixo para cima) do violão. Os trastes 2 e 3 delimitam a área de movimento do dedo, criando assim uma limitação para o quanto a corda é tensionada.

Ao se tensionar a corda do violão pelo movimento da mão esquerda, é esperada uma variação na altura da nota tocada (em sua frequência fundamental e em seus harmônicos) e uma possível variação de amplitude. Em estudos preliminares realizados com amostras de *vibratos longitudinais*, espectrogramas e gráficos de amplitude foram gerados para comprovar tais variações, como demonstram as figuras a seguir:





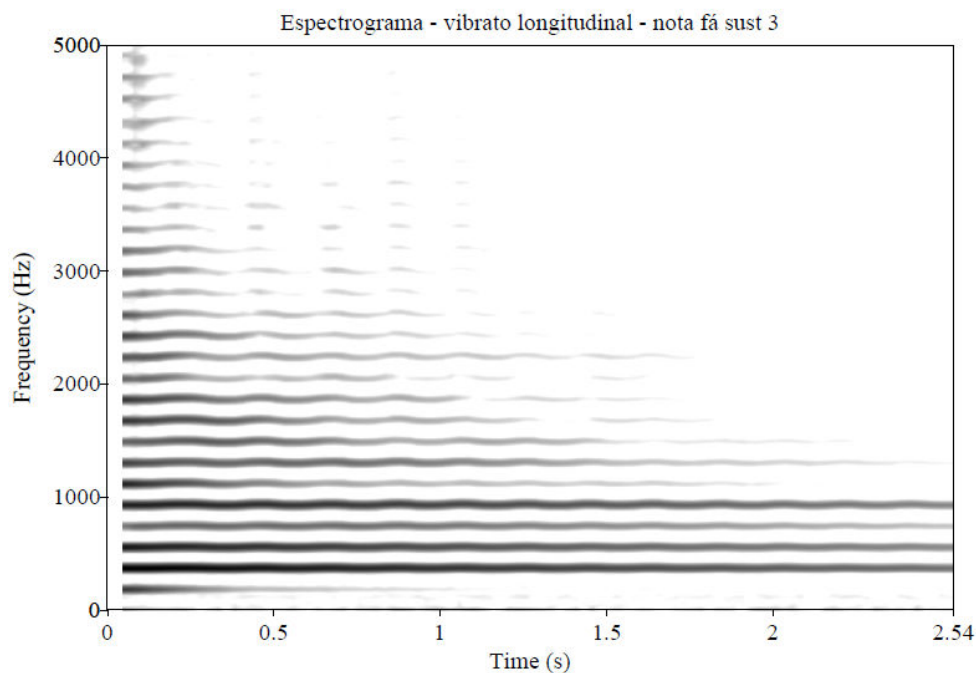


Figura 2.14: Curvas de f_0 , amplitude, centroide, espectrograma e espectro da curva de f_0 de nota com *vibrato* longitudinal . Gráfico elaborado por mim.

2.3.2 O *vibrato* transversal

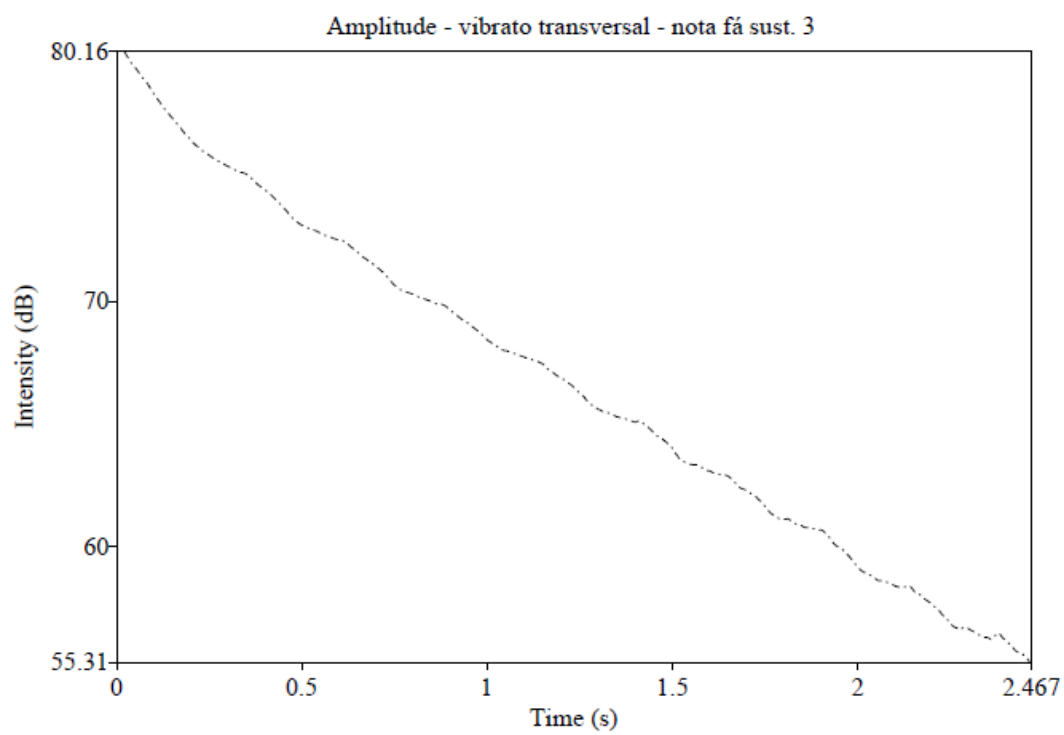
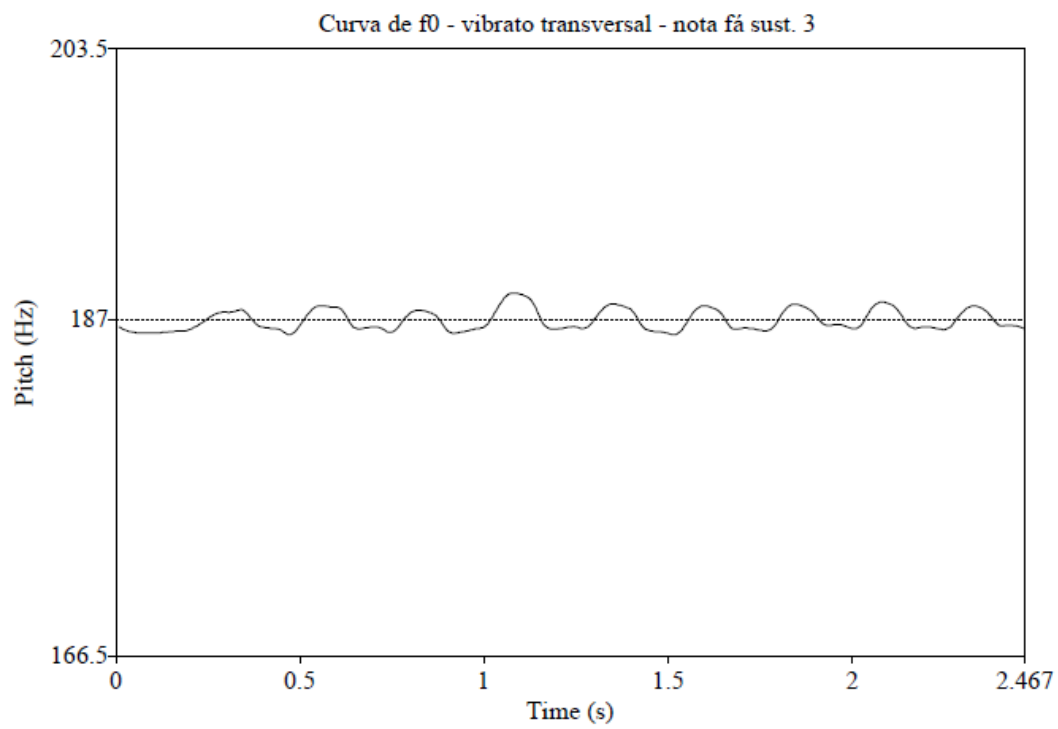
No *vibrato* transversal, o dedo deve se movimentar ao longo da linha do traste, ao invés de se movimentar para os lados, promovendo um maior “esticamento” da corda, como afirma o violonista Daniel Wolff: “o dedo alterna movimentos para cima e para baixo, num ângulo de noventa graus em relação à corda, alterando o som para o agudo em ambas direções do movimento. Geralmente é reservado para as primeiras casas do braço do violão, nas quais o vibrato longitudinal dá poucos resultados” (Wolff, 1999, [s. p.]).

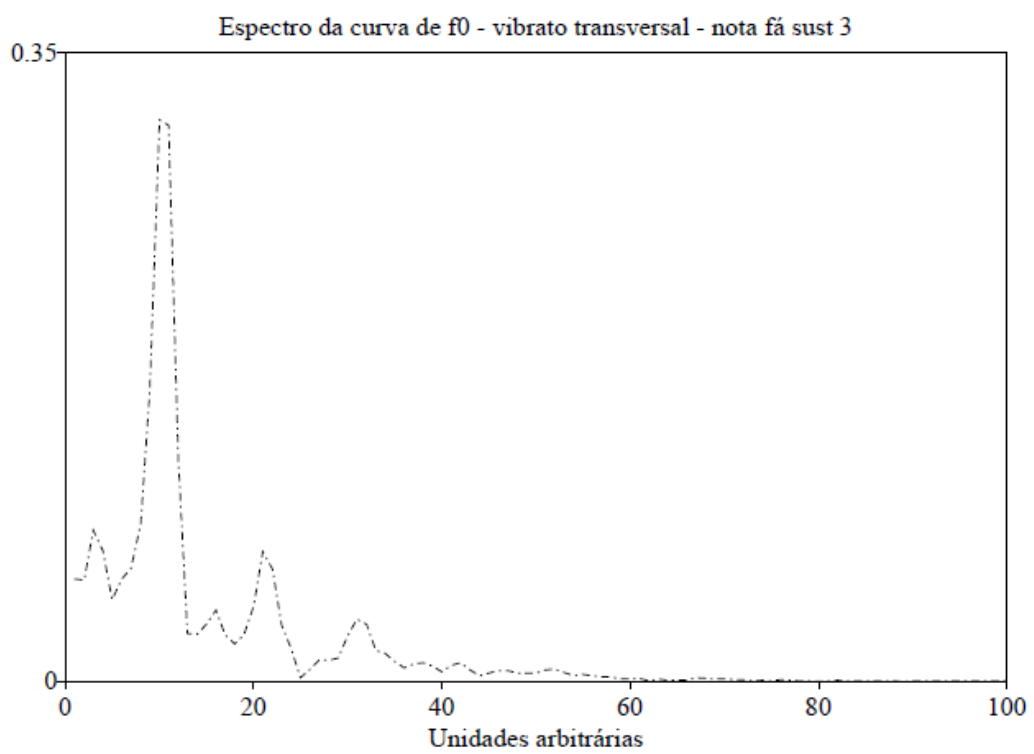
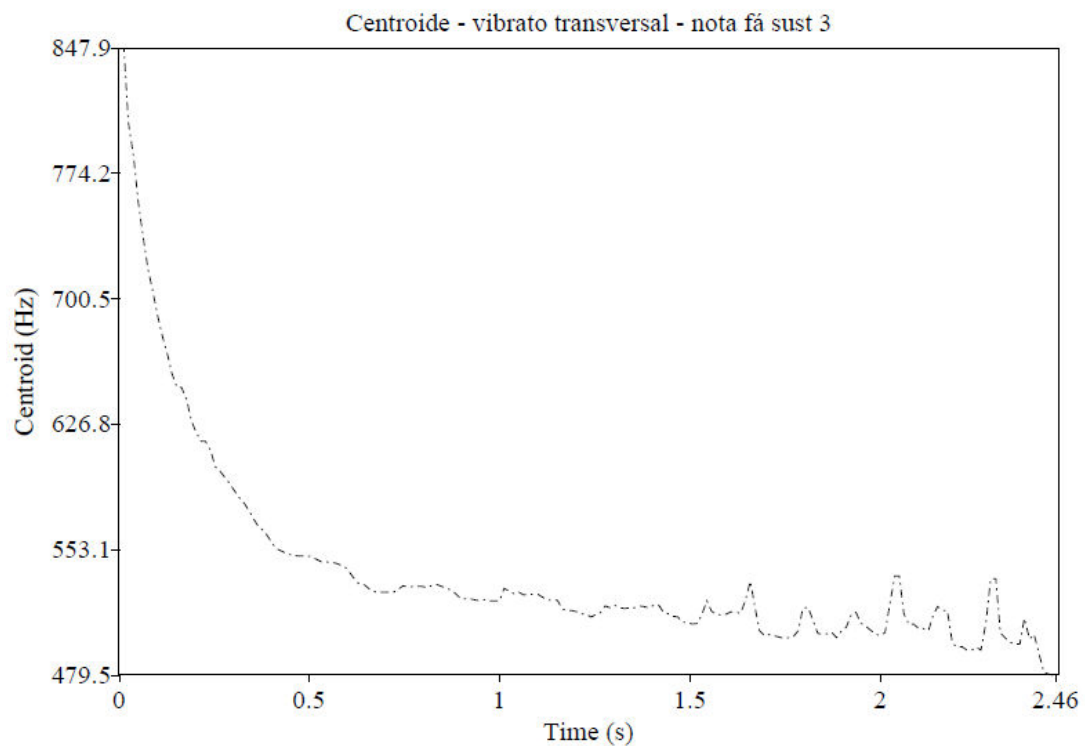
Na figura 2.15, pode-se perceber o movimento descrito:



Figura 2.15 – *Vibrato* transversal realizado na terceira casa da quinta corda (de baixo para cima) com o dedo anular.

Na realização da técnica do *vibrato transversal*, não só é esperada uma variação de altura (e possivelmente de amplitude), como no *vibrato longitudinal*, como ambas as variações produzidas podem ser maiores, visto que, com essa técnica, é possível tencionar muito mais a corda (se for a intenção do violonista). Em contrapartida, o controle da variação de altura é mais difícil, pois o violonista deve vencer a tensão natural da corda, dificultando a manutenção da regularidade do ornamento. Na figura a seguir, pode-se observar um *vibrato* transversal:





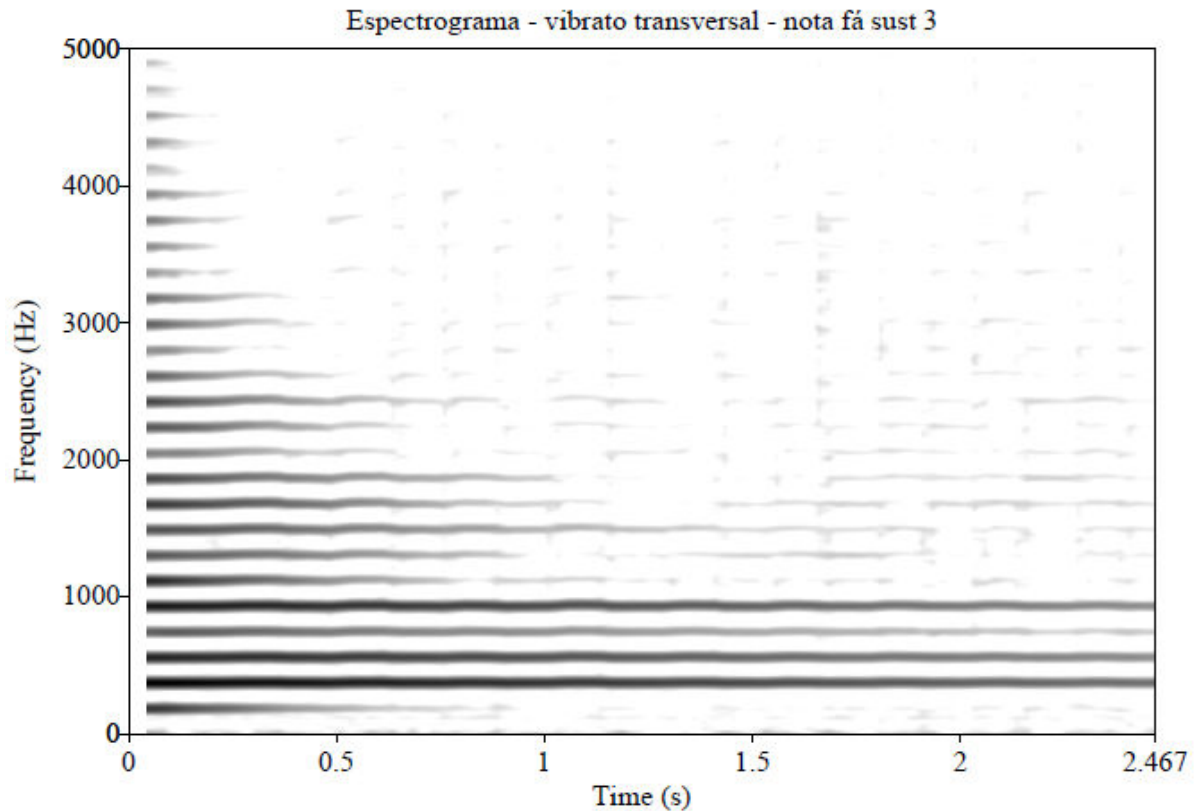


Figura 2.16: Curvas de f_0 , amplitude, centroide, espectrograma e espectro da curva de f_0 de nota com *vibrato* transversal.

Como o *vibrato* transversal foi realizado na corda 5 (coberta com metal), é possível observar na curva de centroide e no espectrograma as contribuições do ruído característico de raspagem da corda no traste durante a execução do *vibrato*.

2.3.3 O *vibrato* de boca

No *vibrato* de boca, o violonista deve movimentar a mão direita em frente à boca do instrumento, alterando assim as propriedades físicas do ar no seu interior como mostra a figura 2.17.



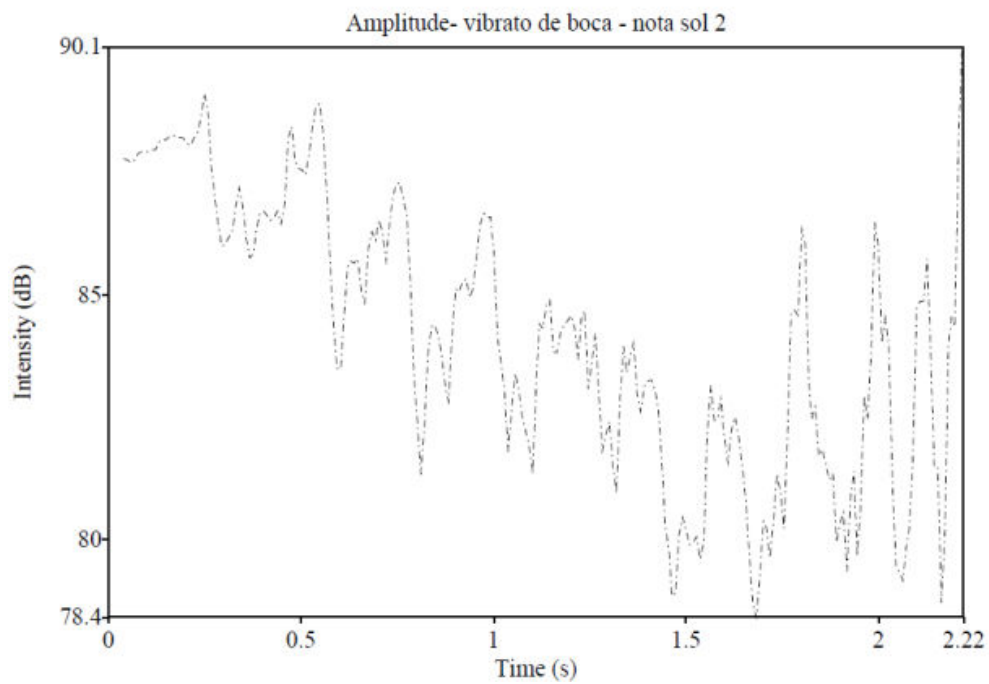
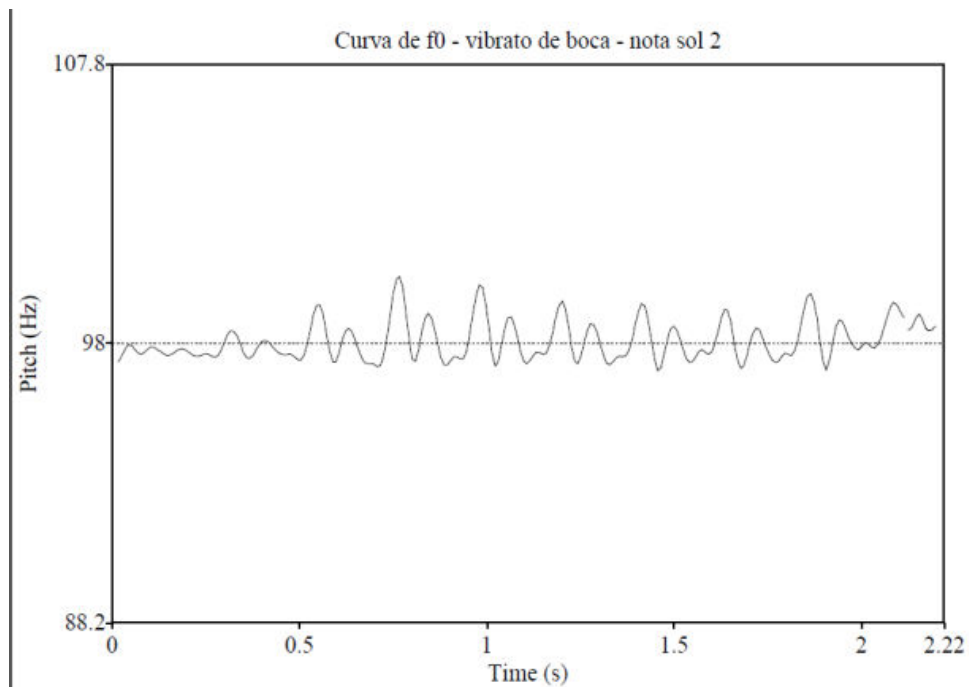
Figura 2.17– *Vibrato* realizado através do movimento da mão direita próxima à boca do instrumento.

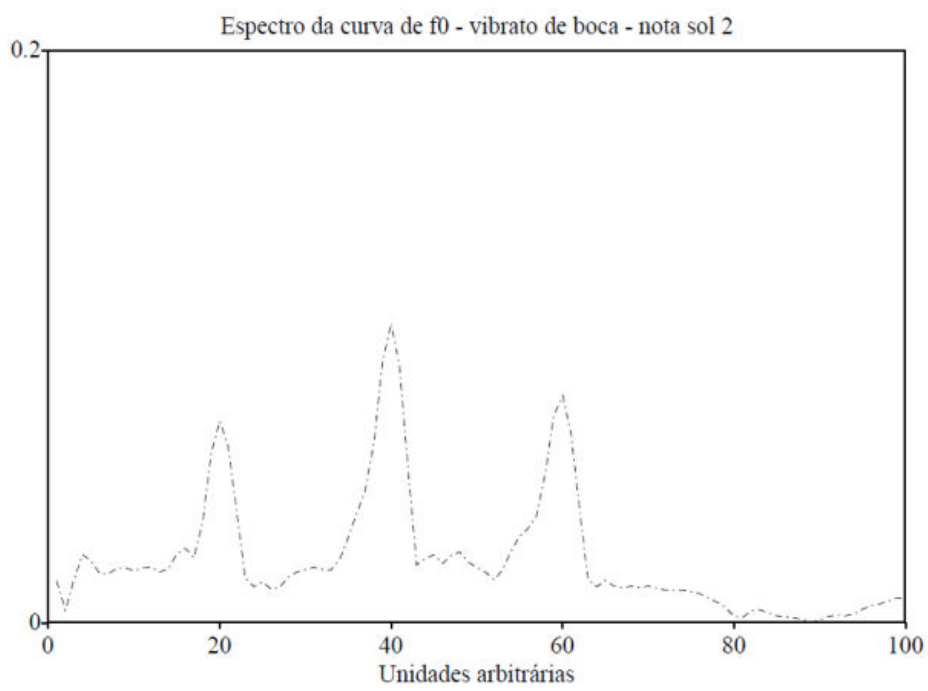
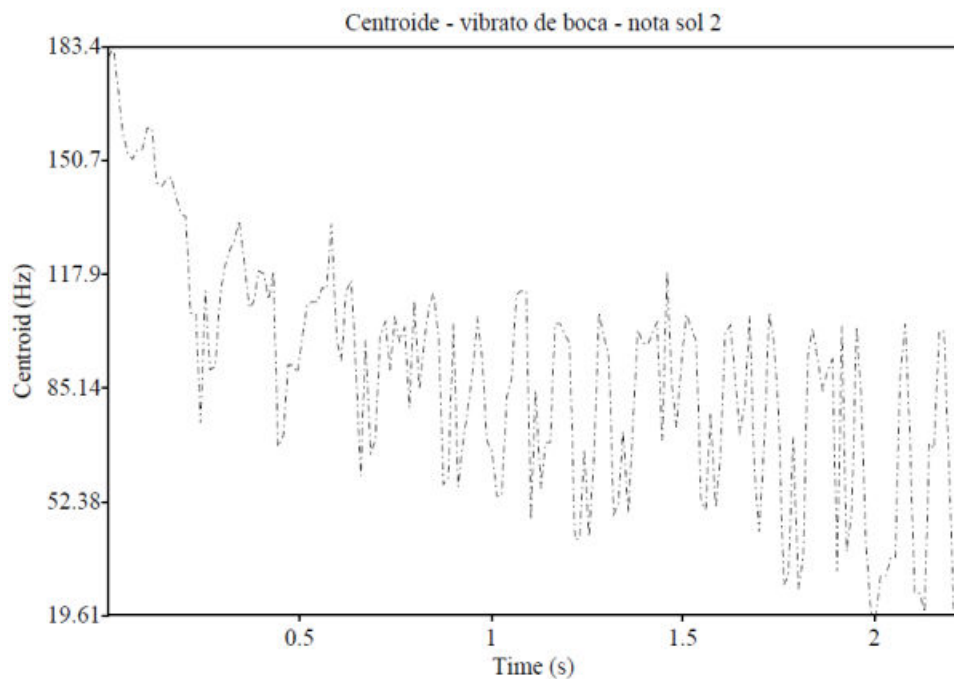
Tal técnica de *vibrato* é provavelmente vinculada ao fato de que a parte interna do violão pode ser interpretada como um ressonador de Helmholtz que consiste em um container de gás (no caso, o ar) com uma abertura (a boca do violão). O volume de ar no interior da caixa e na proximidade do bocal “vibra” devido ao fato de se comportar de forma semelhante à de um sistema “massa-mola”. A caixa do violão atua com maior intensidade nas baixas frequências e é normalmente projetada para que trabalhe como este ressonador, fazendo com que seja possível manipular o som irradiado pela boca do instrumento (por meio do movimento da mão direita). Tal comparação foi realizada por Ra Inta em 2007:

Um importante movimento do violão que produz som em frequências mais baixas é aquele no qual a caixa do violão se comporta como um ressonador de Helmholtz juntamente com o modo vibratório mais baixo do tampo. Negligenciando o movimento da caixa, esse movimento pode ser encarado como um simples oscilador harmônico com um grau de liberdade, no qual a “mola” é composta pelo ar que se encontra dentro da caixa, e a “massa” é o ar da região da boca (INTA, 2007, p. 43).¹⁵

¹⁵ “An important motion of the guitar that produces sound at lower frequencies is one in which the body enclosure acts as if it were a Helmholtz resonator coupled to the lowest *vibratory* mode of the soundboard. Neglecting the motion of the body, this motion may be treated as a simple harmonic oscillator with one degree of freedom, where the “spring” is comprised of the air inside the enclosure, and the “mass” is that of the air in the region of the sound hole.”

Nas figuras a seguir, podemos observar o funcionamento de um *vibrato* de boca tocado na nota sol 2 (98 Hz), na corda 6:





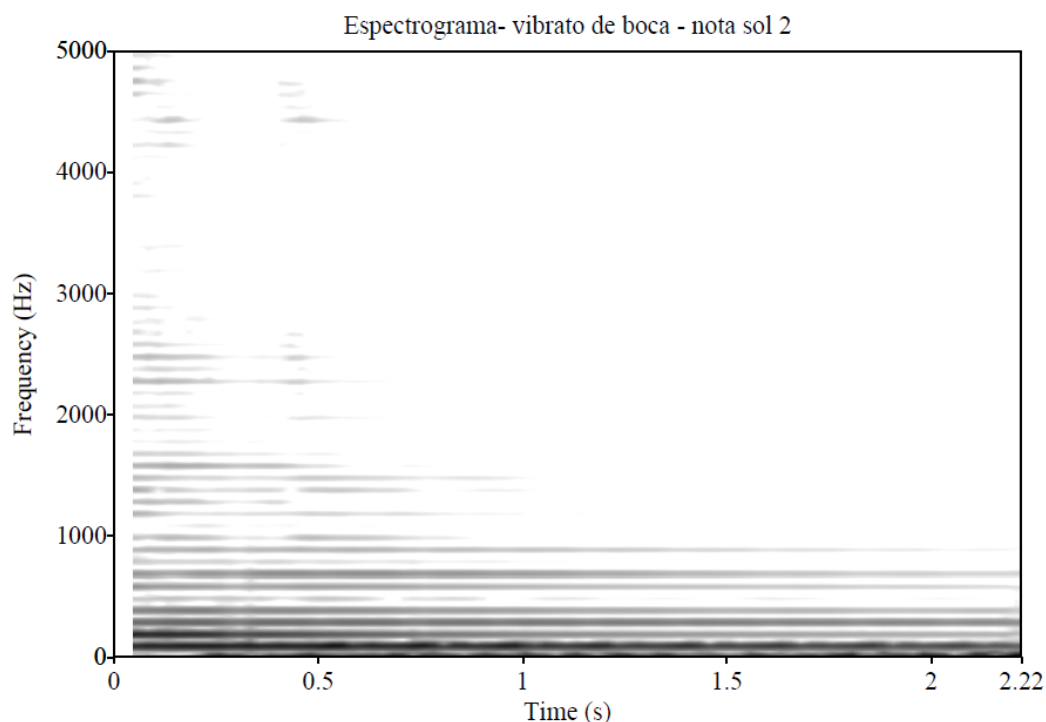


Figura 2.18: Curva de f_0 , amplitude, centroide, espectro da curva de f_0 e espectrograma da nota sol grave, tocada com *vibrato* de boca.

Os valores de centroide podem estar relacionados a uma filtragem realizada pela mão do instrumentista ao alterar o fluxo livre de ar na cavidade. Há muita energia abaixo da fundamental desta nota, que pode ser provocada por posicionamento ou efeito de proximidade do microfone, por ressonâncias graves do corpo do violão, ou ainda por alguma percussão não intencional. Tal fator deve ser melhor investigado.

A forma do espectro da curva de f_0 se deve à irregularidade do *vibrato*: ele se inicia algum tempo após o ataque e seus movimentos são bastante irregulares.

2.3.4 O *vibrato* de tampo

O *vibrato de tampo* consiste na técnica de se pressionar a ponte ou outra área do tampo do violão, na tentativa de movimentar o instrumento, movimentando, por consequência, o tampo para frente e para trás. Cria-se, assim, uma oscilação periódica no som. A pressão pode ser aplicada tanto pelos dedos como por toda a mão do instrumentista, criando também um efeito visual, assim como no *vibrato de boca*. A técnica do *vibrato de tampo* pode ser combinada com a do *vibrato de boca*,

em que um dos dedos (preferencialmente o mínimo) é apoiado na ponte do violão, deixando o resto da mão livre para se movimentar próximo ao tampo, como mostra a figura 2.19:



Figura 2.19 – *Vibrato* realizado através do movimento da mão direita próxima à boca do instrumento, pressionando ao mesmo tempo a ponte.

Se o corpo do violão se movimentar, um *vibrato* de altura pode ser alcançado pelo efeito Doppler, variando também a amplitude do som. Das quatro técnicas apresentadas, talvez esta seja a de mais difícil realização, principalmente se combinada com o *vibrato de boca*.

2.3.5 O *vibrato* de corda solta

Esta técnica nada mais é que uma variação das duas primeiras técnicas de *vibrato* (longitudinal e transversal), mas realizada tocando uma corda solta com seu unísono ou oitava pressionada, fazendo-a vibrar por simpatia e realizando o ornamento na nota que se encontra pressionada.

Outra forma de se realizar *vibrato* em cordas soltas seria o *vibrato* de braço, em que o instrumentista puxa de encontro a seu corpo o braço do violão, provocando um esticamento da corda. Esse movimento realizado de forma repetitiva cria uma variação de altura compreendida como *vibrato*. Tal técnica não foi foco deste estudo.

No próximo capítulo, será discutida a metodologia utilizada para a fase experimental deste trabalho.

Parte 2: Experimentos

3 Metodologia

Após a apresentação das quatro possíveis técnicas para a realização do *vibrato* no violão, uma série de experimentos foi organizada para investigar suas características. Utilizando gravações monofônicas de amostras de *vibratos* em diferentes posições do instrumento, uma metodologia utilizando como principal ferramenta de análise o software PRAAT (descrito no capítulo anterior) foi aplicada.

Para esta fase do trabalho foram escolhidos três experimentos diferentes: o primeiro buscou descrever as características acústicas dos *vibratos* de boca e tampo, verificando suas possibilidades; o segundo foi mais focado em diferenciar as duas principais técnicas de realização do *vibrato* no violão, descritos por Carlevaro (1985) como *vibratos* longitudinal e transversal, comparando as características acústicas de cada uma delas em diferentes regiões e cordas do instrumento, buscando melhor compreender como cada uma das técnicas se comporta em velocidades diferentes com relação à taxa e à extensão do *vibrato* (para tal, três sujeitos foram utilizados); e o terceiro experimento propôs que os sujeitos que tocassem o trecho inicial da peça “Prelúdio IV”, de Heitor Villa Lobos, interpretando-a primeiramente sem o uso do ornamento e depois inserindo *vibratos* onde cada sujeito julgasse necessário, a fim de investigar a influência do *vibrato* na execução da peça.

3.1 Setup experimental

Para a gravação das amostras de áudio, foram escolhidos dois violões de cordas de nylon distintos: O primeiro, construído pelo luthier Antônio de Pádua em 2004, foi utilizado nas gravações em estúdio (nas quais foram utilizados microfones condensadores para a captação das amostras) para as análises envolvendo os *vibratos* de tampo e boca. Tal escolha se deu ao perceber que as técnicas não possuem influência direta nas cordas do instrumento, o que impossibilitaria a utilização de uma captação piezo-elétrica comum (normalmente posicionada na ponte do instrumento, que capta principalmente a vibração e energia das cordas). Para evitar distorções nas análises provocadas por frequências provenientes de

outras cordas ou pela variação de pressão na própria nota gravada (mudanças na força aplicada à nota pelo dedo do instrumentista), espumas foram inseridas entre as cordas não utilizadas, e um capotraste (abraçadeira) foi utilizado para pressionar a nota em cada casa do instrumento. O violão também foi apoiado numa superfície plana, tentando evitar também que o movimento do instrumentista pudesse gerar qualquer interferência na análise.

As gravações foram realizadas com dois microfones condensadores tipo *pencil*, da marca SE Electronics. O primeiro foi posicionado próximo ao instrumento e o segundo foi colocado a aproximadamente 1 metro dele, apontado para o violão.

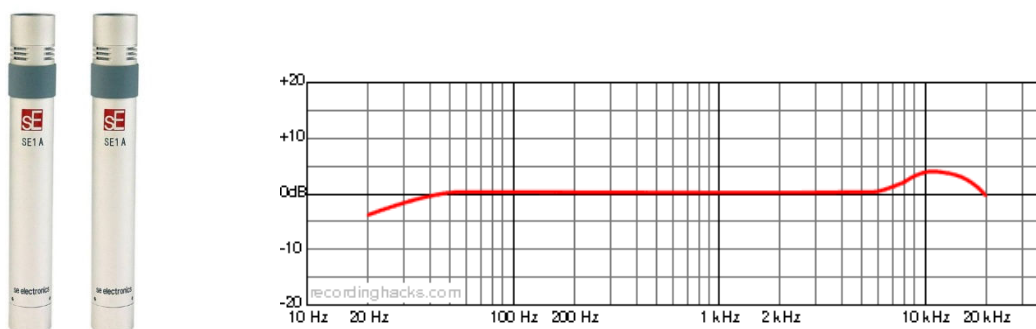


Figura 3.1: Microfones e gráfico de resposta de frequência (Fonte: <http://recordinghacks.com/microphones/SE-Electronics/SE1A>)

Tais microfones foram utilizados porque, dentre os disponíveis, possuíam a resposta de frequência mais plana.

O violão utilizado nos demais testes (gravações das notas de *vibrato* longitudinal e transversal e no trecho da música de Villa Lobos) é um modelo espanhol, da marca Allambra, que possui um captador piezo-elétrico para cada corda do instrumento, instalados na ponte do mesmo, possibilitando a captação e gravação em seis canais simultâneos. Este instrumento foi escolhido por já ter apresentado, em pesquisas anteriores realizadas no Laboratório de Performance com Sistemas Interativos da Escola de Música da UFMG, resultados satisfatórios na captação das notas, além de possibilitar uma análise detalhada dos eventos ocorridos em cada corda. Por se tratar de um instrumento com captação separada para cada corda, pouca interferência entre elas é percebida, apesar de existir um acoplamento mútuo entre as cordas (FREIRE, 2011). O sistema completo de gravação está organizado da seguinte forma:

- um violão acústico espanhol Alhambra modelo E-533 (1978);

- captadores individuais do fabricante LRBaggs, de funcionamento passivo;
- cabos para conexão das seis saídas independentes;
- mesa de som analógica Mackie 24x8 para adequação da impedância dos sinais (com níveis semelhantes ao de um microfone dinâmico);
- placa de som Motu 828 mkII4;
- computador PowerPC G5 2 Ghz.

Após a gravação, todas as notas foram manualmente segmentadas, utilizando softwares de manipulação de áudio, para posteriormente serem analisadas no PRAAT.

3.2 Descritores acústicos e ferramentas de cálculo

Os principais dados necessários para o estudo do *vibrato* no violão são a taxa (que nos mostrará em qual velocidade o ornamento foi tocado), a extensão (que será utilizada para comparar as diferentes técnicas do ornamento, suas possibilidades e características em cada corda e região analisada), os gráficos mostrando a forma de onda (que podem contribuir para a análise da regularidade do ornamento) e dados relativos à variação da amplitude nas notas tocadas e na centroide espectral.

Para as análises utilizando o PRAAT, foi necessário implementar um *script* que pudesse retornar dados que seriam utilizados para calcular as taxas e extensão de cada *vibrato*, visualizar a forma de onda, etc.

3.2.1 A escolha das notas

Para o experimento relacionado ao *vibrato* de boca e tampo, foram escolhidas para análise as notas mais graves do violão (da sexta corda solta, nota mi grave, até a nota ré, tocada na quinta da casa da quinta corda do instrumento). Tal escolha foi feita porque apenas nas notas mais graves foi percebida, auditivamente, alguma variação quando aplicada uma das técnicas.

No experimento com os três sujeitos, um escopo maior de notas foi utilizado com o intuito de cobrir as diferenças nas regiões do instrumento em que uma nota

pode ser tocada (início do braço, na casa um, meio do braço, na casa seis e final do braço, na casa onze) e na diferença entre as cordas de nylon e aço (cordas 3 e 4 do instrumento, nylon e aço, respectivamente). Tal grupo de notas e regiões foi delimitado para abordar as diferenças entre a execução de cada ornamento no instrumento, mas sem gerar uma quantidade muito grande de notas gravadas, visto que cada ornamento deveria ser realizado por cada sujeito em três velocidades distintas.

3.2.2 O Algoritmo implementado no PRAAT

Os passos do algoritmo implementado para o cálculo da curva de f_0 e demais atributos do som com *vibrato* podem ser divididos em três etapas: (1) cálculo das curvas dos descritores de amplitude, centroide e frequência fundamental; (2) cálculo do espectro da curva de f_0 , dos valores médio, máximo e mínimo de f_0 , e preparação para cálculo da taxa de *vibrato* e de sua extensão; (3) cálculo da taxa de *vibrato* e cálculo de sua extensão em cents.¹⁶

Na primeira etapa são calculados os envelopes de amplitude, a evolução do centroide espectral e a curva de f_0 , que podem ser examinadas visualmente em um mesmo gráfico. Na etapa seguinte, é calculado o espectro da curva de f_0 , cujos picos determinam a taxa de *vibrato*; neste processo são também calculados os valores médio, máximo e mínimo da frequência fundamental de cada nota. O script utilizado no programa Praat pode ser consultado no anexo A. A última etapa foi realizada no Excel, para o cálculo da taxa de *vibrato* (em Hz) e da extensão do *vibrato* (em cents).

Etapa 1:

a) fornecimento da frequência fundamental nominal da nota gravada: este valor será utilizado no cálculo do envelope dinâmico e da curva de f_0 .

¹⁶ A escala de cents divide a oitava em 1.200 unidades, na qual cada semitom temperado vale 100 cents.

b) determinação da margem a ser utilizada no cálculo de f_0 : como o *vibrato* no violão tem uma extensão bastante limitada, a aplicação de uma margem de 10% acima e abaixo da frequência nominal é suficiente tanto para dar conta das variações do *vibrato* quanto para evitar que componentes de frequência mais alta sejam lançados na curva.

c) normalização do áudio (pelo valor de pico): a normalização é feita para compensar possíveis diferenças de dinâmica presentes no conjunto de notas gravadas.

d) cálculo do envelope de amplitude e determinação da faixa dinâmica útil: como as notas do violão têm um rápido decaimento após o ataque, é útil determinar uma faixa dinâmica para o cálculo de f_0 . A partir do envelope de amplitude pode-se determinar até qual momento será aplicado o cálculo da curva de f_0 , que neste experimento foi fixada heurísticamente entre 22 e 28 dBs. Pode-se também determinar uma duração específica a ser analisada.

e) cálculo do espectrograma: os espectrogramas foram calculados com os seguintes parâmetros: janela de análise de 25 ms (com passos de 12,5 ms), frequência máxima de 10 KHz, janela gaussiana.

f) cálculo da curva de centroide: a partir do espectrograma, é possível calcular o centroide espectral de cada quadro de análise, que neste caso foi calculado utilizando-se o quadrado das amplitudes.

g) filtragem passa-banda do som normalizado (entre $f_0/2$ e $10*f_0$): essa filtragem busca evitar que ruídos graves de fundo e que harmônicos mais agudos ou transientes venham a interferir no cálculo de f_0 .

h) cálculo da curva de f_0 e filtragem da curva de f_0 (passa-baixa a 20 Hz): a filtragem da curva de f_0 com um filtro passa-baixa com corte em 20 Hz visa a eliminar variações muito rápidas da frequência fundamental (normalmente geradas pela movimentação da fonte, ou grande reverberação) que não fazem parte da expressão do *vibrato*.

i) desenho do gráfico das três curvas – envelope dinâmico, curva de centroide, curva de f_0 : os gráficos são importantes para um exame visual das curvas geradas, e ajustes da frequência nominal e da faixa dinâmica.

Etapa 2:

a) extração das frequências mínima e máxima da curva de f_0 : como o Praat, quando não consegue achar um valor adequado para a frequência fundamental, gera como resultado o valor 0 (zero), a extração desses valores neste momento pode indicar a necessidade de ajustes na etapa anterior.

b) cálculo do valor médio da curva de f_0 e sua subtração de cada valor calculado: este procedimento confere à curva a média zero, de modo a evitar distorções espectrais consideráveis após a aplicação da janela de amplitude do passo seguinte.

c) multiplicação da curva de f_0 do passo anterior por uma janela gaussiana: essa janela de amplitude força que o início e final da curva tenham o valor zero, evitando o aparecimento de altas frequências artificiais na análise espectral.

d) soma do valor médio à curva do passo anterior: após a multiplicação anterior, soma-se novamente o valor médio a cada ponto da curva, que agora tem os mesmos valores em seus pontos iniciais e finais.

e) cálculo da transformada discreta de Fourier (DFT) da curva do item anterior: foi implementado o método tradicional de cálculo da transformada discreta de Fourier, com a determinação dos componentes reais e imaginários, e posterior cálculo da amplitude de cada frequência de análise:

$$A(f_i) = \frac{\sum_{n=0}^{N-1} f_0(n) * (\cos(\frac{2\pi i n}{N})) + i(\sin(\frac{2\pi i n}{N}))}{N}, \text{ onde } N \text{ é o total de pontos da curva,}$$

n o índice temporal de cada um dos pontos, e i o multiplicador da frequência base da análise espectral, variando de 1 a N .

f) cálculo do valor médio da curva de f_0 : este valor, a ser usado na determinação da extensão do *vibrato*, foi determinado pelo termo constante da DFT.

g) cálculo da frequência base da DFT: a frequência base é o inverso da duração total do trecho analisado.

h) desenho do gráfico do espectro da curva de f_0 : são colocados no gráfico os primeiros 100 valores das amplitudes do espectro, nos quais deve aparecer um claro pico nas frequências mais baixas, e eventualmente outros picos menores em frequências mais altas.

Etapa 3:

a) inspeção visual dos primeiros valores de pico da DFT: este exame é importante para verificar se há um ou dois valores formando o pico principal do gráfico. A existência de mais de um pico indica que a taxa e a forma do *vibrato* não são constantes durante todo o trecho, podendo sofrer variações durante sua execução. Esses valores de pico - $A(p)$ ou $A(p)$ e $A(p+1)$ - são copiados da matriz do PRAAT, que guarda as amplitudes da DFT para uma planilha Excel.

b) cálculo da taxa de *vibrato*: no caso de um pico, a taxa de *vibrato* é calculada multiplicando-se a frequência base da DFT por p . No caso de dois picos, aplicamos a fórmula dada por Tempelaars em seu livro *Signal Processing, Speech and Music* (TEMPELAARS, 1996, p. 147):

taxa de *vibrato* = $(p+q)$ *frequência base, onde:

$$q = \frac{(2 - A_p / A_{p+1})}{(1 + A_p / A_{p+1})}$$

c) cálculo (em cents) dos desvios máximos (positivo e negativo) em relação ao valor médio de f_0 : para cada um dos desvios, utiliza-se a fórmula:

$$desvio = \frac{1200 * \log_{10}(f_{\max(\text{ou min})} / f_{\text{med}})}{\log_{10}(2)}$$

Após esta etapa, foi gerada, para cada nota gravada, uma imagem composta contendo a curva da variação da amplitude, a variação da centroide espectral, a curva da f_0 (mostrando a variação da frequência da nota através do tempo) e os picos da DTF, como podemos ver na imagem a seguir:

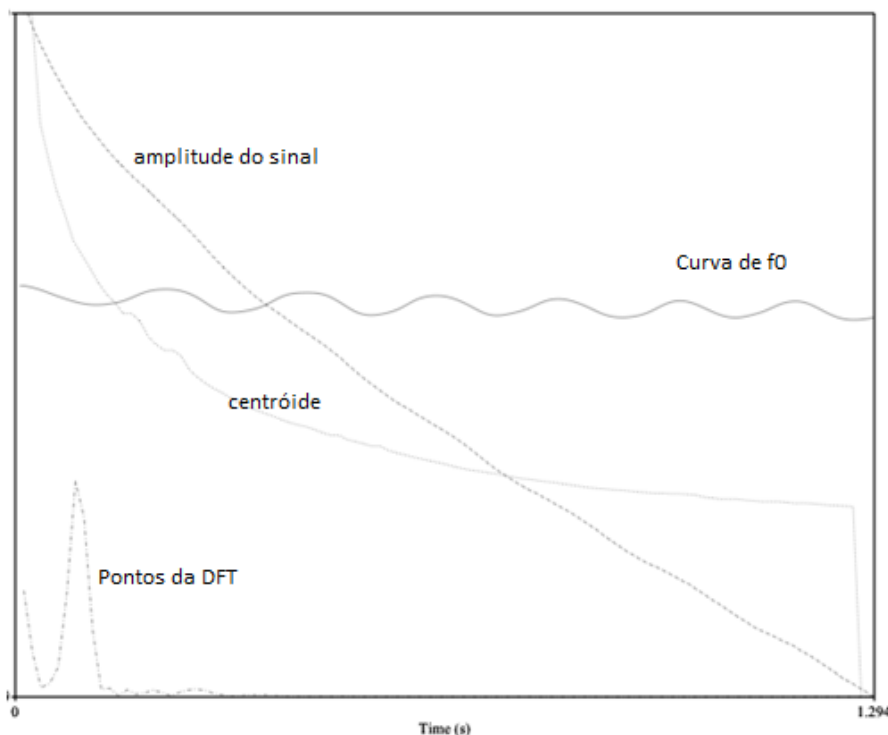


Figura 3.2: Figura gerada no PRAAT, após a análise da Nota G# tocada na corda 3 com *vibrato* longitudinal rápido.

Todas as figuras geradas, assim como as informações iniciais (frequências média, mínima e máxima de cada nota, etc.) foram armazenadas num arquivo base, que pode ser consultado no anexo presente no DVD de arquivos e anexos. Os dados foram utilizados nos cálculos feitos no Excel, como descrito anteriormente.

3.2.3 Análise estatística dos dados coletados

Após as gravações e análises utilizando o *script* do PRAAT, os dados obtidos passaram por um processo de cálculos estatísticos para extrair dados relevantes sobre os experimentos. Para os dados gerados no experimento 2 (maior número de notas), foram gerados gráficos do tipo “diagrama de caixa” (*box plot*) e utilizado um método estatístico denominado Teste t de Student.

- Diagrama de caixa: *box plot* ou diagrama de caixa é um diagrama que mostra uma distribuição estatística na qual o eixo vertical representa a variável a ser analisada e o eixo horizontal um fator de interesse. Este método é utilizado para localizar e analisar a variação de uma variável dentre diferentes grupos de dados. Para se construir o diagrama de caixa, deve-se encontrar a mediana e os quartis,

sendo que o quartil inferior contém 25% ou 1/4 das menores medidas e o quartil superior contém 75% ou 3/4 de todas as medidas. Posteriormente, deve-se plotar um símbolo onde se localiza a mediana e uma caixa cuja base representa o quartil inferior (25% ou 1/4 dos menores valores), e o topo da caixa o quartil superior (75% ou 3/4) dos valores observados. A caixa, portanto, representa 50% de todos os valores observados, concentrados na tendência central dos valores, eliminando os 25% que representam os menores valores e os 25% que representam os maiores valores. Um segmento de reta é desenhado do primeiro quartil até o valor adjacente inferior e outro do terceiro quartil até o valor adjacente superior. Esses são os *Whiskers*, ou fios de bigode.

Esse tipo de gráfico facilita a visualização de vários aspectos simultaneamente, mostrando de forma organizada valores atípicos ou discrepantes, a assimetria dos dados, etc., contribuindo para a interpretação dos dados coletados nos experimentos.

- Teste t de Student: desenvolvido em 1908 por William Sealy Gosset, o Teste t de Student (ou apenas Teste t) é um método estatístico que consiste em realizar um teste de hipóteses (método de inferência estatística usando dados de um estudo científico) para comparar uma amostra com uma população, comparar duas amostras pareadas (mesmos sujeitos em dois momentos distintos), ou comparar duas amostras independentes.

Gosset trabalhava como químico da cervejaria Guinness em Dublin, Irlanda (“Student” era seu pseudônimo) e havia sido contratado devido à política inovadora de Claude Guinness de recrutar os melhores graduados de Oxford e Cambridge para os cargos de bioquímico e estatístico da indústria Guinness. Durante seu trabalho na cervejaria, desenvolveu o Teste t como um modo barato de monitorar a qualidade da cerveja tipo *stout*. O pesquisador publicou o Teste t na revista acadêmica *Biometrika* em 1908 (MANKIEWICZ, 2000. p. 158).

Neste trabalho, foi utilizado o Teste t de Student calculado com distribuição unicaudal e pareada.

3.3 Sujeitos

Nos dois experimentos relacionados com as técnicas de *vibrato* longitudinal e transversal, três sujeitos diferentes foram escolhidos e denominados como músicos A, B e C.

Músico A: Músico de formação erudita, que durante a realização dos experimentos se encontrava em processo de finalização do curso de graduação em música na UFMG (bacharelado), preparando-se para o recital de formatura.

Músico B: Graduado em violão (licenciatura), o sujeito B possui uma formação mista. Uma vez que atuava principalmente como guitarrista, apesar de uma formação erudita, tinha mais vivência com a música popular.

Músico C: Aluno do quinto período de violão da UEMG (licenciatura), o sujeito B possui uma formação primordialmente erudita, sendo o menos experiente dos três sujeitos selecionados.

3.4 Experimentos

Experimento 1 - Caracterização dos *vibratos* de boca e tampo

Neste experimento, o objetivo principal era investigar como funcionam (e se realmente existem) *vibratos* quando utilizamos a mão que ataca as cordas do violão para realizar o ornamento. O que motivou a criação do experimento foi a observação dessas técnicas sendo utilizadas pelo músico Pavel Steidl em sua passagem por Belo Horizonte na primeira Mostra Internacional de Violões, no ano de 2005.¹⁷ A principal questão relacionada a estes *vibratos* é se realmente é possível manipular algum parâmetro da nota (altura e/ou amplitude), pressionando repetidamente o tampo do instrumento ou movimentando a mão direita repetidas vezes na abertura da cavidade de ar, tentando, assim, manipular o som após o ataque das notas. Foi também levantado que tais técnicas poderiam ter uma função apenas visual, fazendo parte da performance, mas sem alterar as notas tocadas.

Foram gravadas amostras de áudio utilizando apenas um músico, visto que, como descrito anteriormente, o violão foi posicionado em uma superfície plana, sem contato com o instrumentista, a fim de evitar movimentos no corpo que pudessem gerar qualquer variação não relacionada ao movimento da mão do músico no tampo

¹⁷ Pavel se apresentou em Belo Horizonte no ano de 2005, realizando durante sua performance diversos movimentos com a mão direita próximos à boca e ao tampo do instrumento, que pareciam representar *vibratos*. Tal técnica pode ser observada no vídeo disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=vev-Z71jssM>>, aos 2 minutos e 46 segundos. Acesso em: 10 abril 2014.

ou na boca do violão. As notas tocadas foram segmentadas em programas de manipulação de áudio para depois serem analisadas pelo software PRAAT. Os resultados se encontram discutidos na sessão seguinte.

Experimento 2 - Caracterização dos *vibratos* longitudinal e transversal

Este experimento possuiu como objetivo comparar as diferenças entre as duas principais técnicas de *vibrato* no violão, amplamente utilizadas por músicos de diferentes formações. O foco das análises concentrou-se principalmente na taxa de *vibrato* e extensão, compreendendo também como é a resposta de cada técnica em cada região do violão, para posteriormente discutir, se possível, em quais casos cada uma das técnicas deve ser utilizada. Os gráficos da forma de onda do *vibrato* também foram utilizados, pois podem dar informações importantes sobre a regularidade do ornamento.

Como descrito anteriormente, a escolha das notas buscou priorizar diferentes regiões do braço do instrumento e os dois tipos de corda (aço e nylon), assim como três velocidades diferentes (lento, moderado e rápido, que eram tocadas de acordo com o que cada instrumentista entendia dessas velocidades), gerando, para cada instrumentista gravado, um total de 36 notas gravadas. Cada nota foi devidamente segmentada para depois ser analisada utilizando o *script* do PRAAT. Os resultados parciais (tabelas com taxa de *vibrato*, frequência média de cada nota e variação em cents) foram colocados em uma tabela simples, para depois serem processados estatisticamente.

Os resultados parciais deste experimento podem ser conferidos nas tabelas a seguir:

Músico A - *vibratos* lentos

tipo	taxa de <i>vibrato</i> (Hz)	casa/corda (nota)	f0 média (Hz)	desvio máximo superior (cents)	desvio máx. inferior (cents)
long	1,56	1/3	210,74	7,71	-6,47
	1,59	1/4	156,47	4,15	-3,10
	1,84	6/3	282,28	14,24	-10,14
	1,61	6/4	209,41	9,45	-10,28

	1,57	11/3	378,20	10,99	-23,02
	1,54	11/4	280,57	16,93	-17,38
transv	1,84	1/3	210,90	16,52	-8,43
	2,09	1/4	156,93	14,64	-7,53
	1,36	6/3	289,88	34,54	-21,76
	2,14	6/4	210,56	23,616	-15,87
	1,81	11/3	381,66	36,54	-24,91
	2,11	11/4	280,56	21,44	-11,24

Músico A - *vibratos* com velocidade moderada

tipo	taxa de <i>vibrato</i> (Hz)	casa/corda (nota)	f0 média (Hz)	desvio máx. superior (cents)	desvio máx. inferior (cents)
long	2,03	1/3	210,80	8,14	-6,80
	2,37	1/4	156,51	3,60	-3,45
	2,87	6/3	282,31	10,84	-10,33
	2,12	6/4	209,50	9,28	-11,94
	2,2	11/3	379,43	15,97	-20,71
	2,6	11/4	280,55	15,23	-13,62
transv	2,89	1/3	212,38	22,54	-18,56
	3,28	1/4	156,99	14,06	-8,21
	2,97	6/3	284,08	28,35	-22,49
	2,82	6/4	211,13	27,6	-22,32
	3,15	11/3	381,25	29,02	-23,47
	2,54	11/4	281,33	19,47	-16,08

Músico A - *vibratos* rápidos

tipo	taxa de <i>vibrato</i> (Hz)	casa/corda (nota)	f0 média (Hz)	desvio máx. superior (cents)	desvio máx. inferior (cents)
long	5,3	1/3	210,71	9,72	-6,35
	5,84	1/4	156,54	3,95	-3,85

	4,73	6/3	282,35	14,7	-16,97
	6,06	6/4	209,63	10,95	-13,73
	4,81	11/3	379,34	31,09	-28,70
	5,59	11/4	280,82	15,3	-19,68
transv	5,49	1/3	212,45	33,11	-22,5
	5,52	1/4	156,86	10,84	-7,42
	5,07	6/3	285,03	39,25	-29,32
	5,95	6/4	211,34	34,82	-22,39
	5,05	11/3	382,48	33,25	-30,1
	5,31	11/4	282,10	31,41	-27,54

Músico B - *vibratos* lentos

tipo	taxa de <i>vibrato</i> (Hz)	casa/corda (nota)	f0 média (Hz)	desvio máx. superior (cents)	desvio máx. inferior (cents)
long	2,4	1/3	210,5	3,54	-2,74
	2,3	1/4	156,6	1,88	-2,05
	1,86	6/3	281,68	7,001	-8,82
	2,32	6/4	208,94	9,14	-9,29
	1,79	11/3	376,28	16,17	-8,76
	1,76	11/4	279,79	8,38	-11,16
transv	2,096	1/3	210,87	19,61	-8,83
	2,04	1/4	156,63	8,54	-5,52
	2,06	6/3	283,53	19,78	-13,04
	1,57	6/4	209,84	14,15	-9,88
	1,56	11/3	378,51	21,23	-11,59
	1,70	11/4	280,86	14,67	-7,54

Músico B - *vibratos* com velocidade moderada

tipo	taxa de <i>vibrato</i> (Hz)	casa/corda (nota)	f0 média (Hz)	desvio máx. superior (cents)	desvio máx. inferior (cents)
long	3,014	1/3	210,36	4,19	-6,11
	2,5	1/4	156,55	2,11	-3,20
	2,27	6/3	281,65	8,99	-9,062
	3,13	6/4	208,88	7,87	-8,75
	2,33	11/3	376,12	16,35	-11,62
	2,87	11/4	279,65	12,78	-11,33
transv	2,89	1/3	210,99	20,11	-10,81
	2,59	1/4	156,73	8,73	-5,78
	3,15	6/3	283,01	15,82	-11,15
	2,21	6/4	2,21	13,75	-8,47
	2,24	11/3	377,98	21,71	-13,80
	2,164	11/4	279,89	8,66	-5,84

Músico B - *vibratos* rápidos

tipo	taxa de <i>vibrato</i> (Hz)	casa/corda (nota)	f0 média (Hz)	desvio máx. superior (cents)	desvio máx. inferior (cents)
long	5,001	1/3	210,51	5,27	-6,41
	5,33	1/4	156,5	3,55	-2,94
	5,7	6/3	282,05	12,92	-15,66
	5,58	6/4	208,99	13,43	-14,16
	5,14	11/3	376,43	15,19	-16,51
	5,66	11/4	279,64	17,95	-16,19
transv	4,81	1/3	211,31	20,32	-15,14
	4,91	1/4	156,63	8,54	-5,51
	5,03	6/3	284,79	47,53	-26,17
	4,88	6/4	210,24	27,02	-16,31
	5,11	11/3	379,5	36,14	-24,05
	4,24	11/4	279,89	15,76	-10,08

Músico C - *vibratos* lentos

tipo	taxa de <i>vibrato</i> (Hz)	casa/corda (nota)	f0 média (Hz)	desvio máx. superior (cents)	desvio máx. inferior (cents)
long	0,91	1/3	210,35	2,44	-6,24
	0,89	1/4	156,44	2,18	-2,17
	1,17	6/3	281,33	12,80	-10,7
	1,07	6/4	209,45	9,93	-9,58
	1,14	11/3	376,9	17,52	-13,61
	1,08	11/4	280,22	6,6	-9,71
transv	2,39	1/3	211,63	12,13	-9,98
	2,11	1/4	156,72	5,96	-5,44
	2,08	6/3	282,16	10,14	-12,49
	1,39	6/4	209,62	9,29	-7,65
	1,17	11/3	378,23	9,087	-9,6
	2,19	11/4	281,5	8,24	-9,92

Músico C - *vibratos* com velocidade moderada

tipo	taxa de <i>vibrato</i> (Hz)	casa/corda (nota)	f0 média (Hz)	desvio máx. superior (cents)	desvio máx. inferior (cents)
long	1,78	1/3	210,14	4,82	-2,4
	1,92	1/4	156,43	2,45	-1,41
	1,99	6/3	281,30	12,08	-15,72
	2,03	6/4	209,11	9,67	-8,44
	2,75	11/3	377,79	20,1	-22,6
	1,96	11/4	279,84	9,96	-9,9
transv	*1,73	1/3	211,51	9,84	-11,04
	*1,72	1/4	156,62	4,46	-4,44
	3,68	6/3	282,18	12,84	-10,12

	4,07	6/4	209,49	8,39	-5,62
	5,12	11/3	378,61	13,23	-13,6
	*2,06	11/4	281,19	12,66	-8,55

Músico C - *vibratos rápidos*

tipo	taxa de <i>vibrato</i> (Hz)	casa/corda (nota)	f0 média (Hz)	desvio máx. superior (cents)	desvio máx. inferior (cents)
long	3,11	1/3	210,24	3,59	-2,73
	3,56	1/4	156,46	1,89	-1,96
	3,35	6/3	281,53	9,86	-17,63
	3,26	6/4	209,05	10,03	-10,44
	3,94	11/3	377,63	20,92	-20,10
	3,72	11/4	280,15	15,59	-14,21
transv	3,89	1/3	211,059	15,48	-14,39
	3,79	1/4	156,56	8,27	-4,41
	^3,54	6/3	282,19	12,48	-12,46
	3,75	6/4	209,38	9,44	-4,33
	4,29	11/3	378,65	23,15	-24,55
	3,11	11/4	280,94	12,55	-7,76

^6,3 - Por inconstâncias na execução do movimento, duas possíveis taxas foram encontradas

Experimento 3 - Performance dos primeiros 10 compassos do “Prelúdio 4” de Heitor Villa-Lobos

O objetivo deste experimento era observar, na performance dos mesmos três sujeitos participantes do experimento anterior, como o *vibrato* poderia interferir na execução do trecho inicial da peça “Prelúdio 4”, de Heitor Villa Lobos. Tal peça é amplamente conhecida e tocada pela maioria dos violonistas eruditos (visto que muitas vezes é uma das peças incluídas nos vestibulares de música) e possui, nos seus primeiros dez compassos, diversas notas tocadas sozinhas, situação que possibilita a inserção de *vibratos* em diversas notas do trecho, que possui uma

extensão ampla, passando por várias regiões do instrumento, como podemos observar na figura a seguir:

PRÉLUDE Nº 4

Pour Guitare

H. VILLA-LOBOS
(Rio, 1940)

The image shows the first ten measures of the musical score for 'Prelúdio 4' by Heitor Villa-Lobos. The score is written for guitar and is in the key of D major (one sharp). It begins with a 2/4 time signature and a tempo marking of 'Lento'. The first measure is marked 'f cantabile' and features a melodic line with notes G, D, and A, which are circled and labeled above the staff. The second measure is marked 'pp' and features a complex rhythmic pattern with a 7-measure rest. The third measure is marked 'f' and features a melodic line with notes G, D, and A, also circled and labeled. The fourth measure is marked 'pp' and features a complex rhythmic pattern with a 7-measure rest. The fifth measure is marked 'f' and features a melodic line with notes A and E, which are circled and labeled. The sixth measure is marked 'pp' and features a complex rhythmic pattern with a 7-measure rest. The seventh measure is marked 'f' and features a melodic line with notes E and A, which are circled and labeled. The eighth measure is marked 'pp' and features a complex rhythmic pattern with a 7-measure rest. The ninth measure is marked 'f' and features a melodic line with notes E and A, which are circled and labeled. The tenth measure is marked 'pp' and features a complex rhythmic pattern with a 7-measure rest. The score concludes with a final measure marked 'f' and a 7-measure rest.

Figura 3.3: Primeiros 10 compassos do “Prelúdio 4”, de Heitor Villa Lobos.

Para a análise, foi pedido aos sujeitos que tocassem a peça duas vezes, interpretando-a da forma que quisessem, mas apenas utilizando *vibratos* na segunda performance. As gravações foram realizadas em um violão hexafônico, o mesmo utilizado no experimento 2. A ideia central do experimento era observar se, ao adicionar o ornamento em algumas notas, variações de andamento aconteceriam, ou seja, a realização de um *vibrato* em uma nota poderia deixá-la um pouco mais longa, ou o movimento poderia provocar alterações na performance do músico, mostrando que o ornamento não interfere apenas na nota em si, mas pode contribuir para toda a interpretação de um trecho. Outra preocupação seria qual técnica de *vibrato* foi usada por cada músico, visto que a peça possui notas em diversas regiões do instrumento, abrindo possibilidades para uma combinação dos

vibratos longitudinal e transversal. Por último, buscou-se observar como se comportaram as taxas e extensão do *vibrato* em uma situação de performance.

Após a gravação das amostras, o tempo (em segundos) em que cada cabeça de tempo foi tocada foi coletado manualmente com a ajuda do PRAAT (utilizando a janela de visualização de áudio), para posteriormente ser organizado em uma tabela do Excel e analisado:

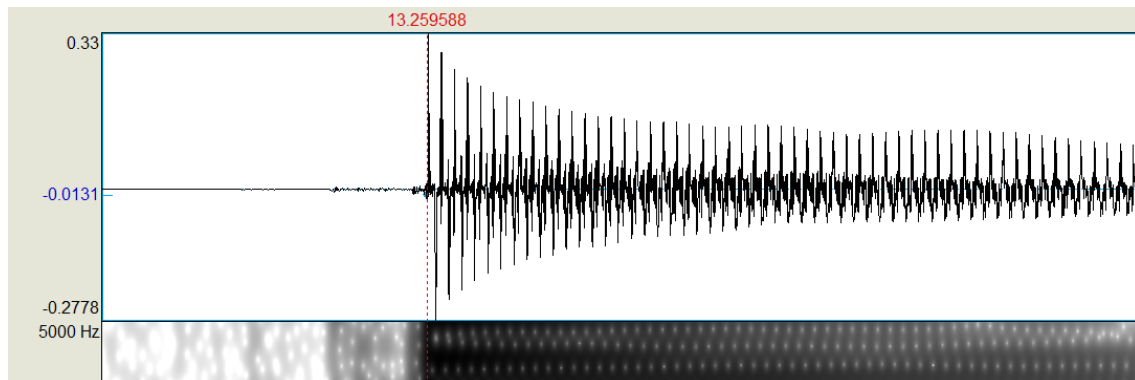


Figura 3.4: Janela de visualização do PRAAT, em que cada nota localizada em uma pulsação foi selecionada (*zoom*), e o tempo de seu ataque anotado e transferido para uma tabela do Excel.

Com os dados coletados, gráficos mostrando a variação de tempo (BPM) entre as pulsações foram gerados, a fim de se observarem e compararem as performances de cada sujeito.

A discussão dos resultados obtidos nesses três experimentos se encontra no próximo capítulo.

4 Resultados

Nesta sessão, apresentaremos os resultados obtidos nos três experimentos, buscando elucidar as questões levantadas sobre o *vibrato* violonístico durante a realização deste trabalho.

Experimento 1

Vibrato de tempo

Nas gravações relacionadas ao *vibrato* de tempo, após diversas tentativas de alteração da vibração do mesmo após o ataque da nota, percebeu-se que, com o violão posicionado na superfície plana (sem que o movimento do instrumentista pudesse fazer com que todo o violão se movimentasse, podendo assim criar alguma variação talvez por efeito *doppler*), nenhuma alteração aparente foi percebida. As notas com e sem *vibrato* apresentaram valores praticamente iguais, o que mostra que possivelmente a técnica possui características apenas visuais:

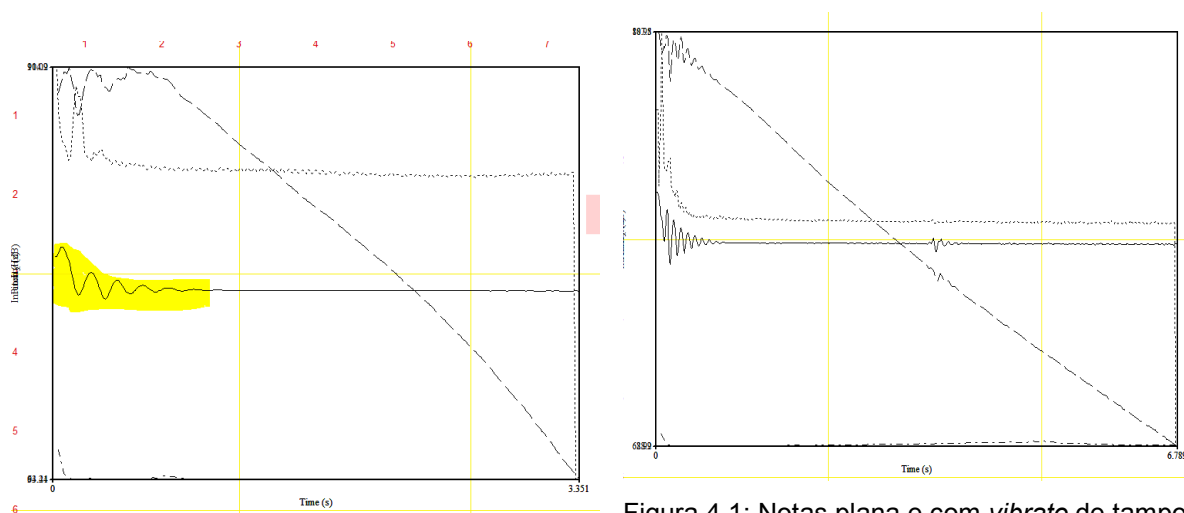


Figura 4.1: Notas plana e com *vibrato* de tempo.

Pode-se perceber que, após o ataque da nota e o período de instabilidade após o ataque (quando ocorre o fenômeno do *pitch glide*), a nota se estabiliza e a altura da mesma não varia. Também não acontece nenhuma variação de amplitude, ou seja, em ambos os casos, o decaimento da nota é o mesmo, sem o desenvolvimento

de um pulso. O *vibrato* foi aplicado alguns instantes após o ataque da nota, não interferindo, então, na altura. Este resultado parece sugerir que, com esta técnica, não é possível manipular o movimento do tampo do instrumento a fim de criar uma variação de altura. Para observar se, ao se movimentar todo o corpo do instrumento, alguma variação de altura poderia ser percebida (efeito que poderia ser causado quase que sem intenção pelo instrumentista ao tentar realizar um *vibrato* de tampo), uma nota foi gravada no instrumento, que logo após seu ataque foi totalmente movimentado no ar, tentando simular possíveis movimentos que poderiam surgir involuntariamente durante a tentativa de se realizar um *vibrato* de tampo:

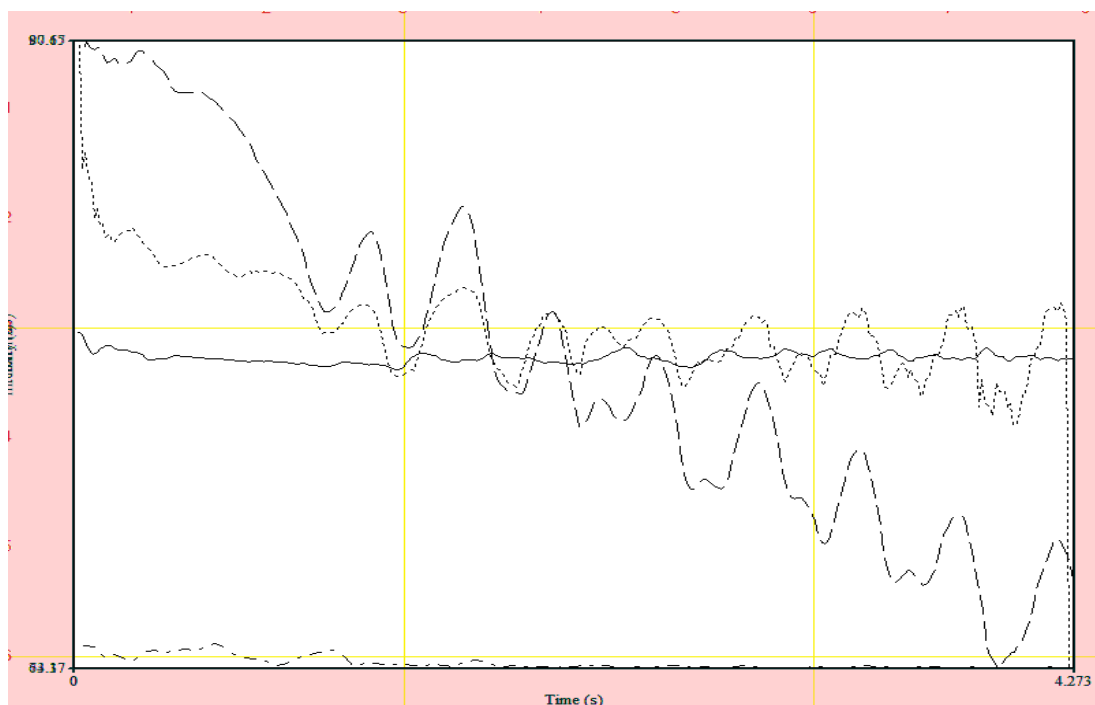


Figura 4.2: Nota E grave; violão movimentado no ar.

Neste caso, o som captado mostrou uma variação grande tanto na centroide espectral quanto na amplitude da nota, criando um pulso que pode ser interpretado como *vibrato*. Apesar disso, a variação na altura da nota não parece ser relevante, com uma forma de onda bem inconstante. Em uma situação de performance, a tentativa de pressionar o tampo poderia indiretamente provocar uma variação de tensão no braço do violão, visto que o músico apoia a mão esquerda no braço do instrumento, criando, assim, indiretamente, um *vibrato* de braço, enganando o ouvinte. Após os testes iniciais realizados com esta técnica, chegou-se à conclusão de que, nas situações analisadas, não é possível realizar um *vibrato* da tampo.

Vibrato de boca

O experimento relacionado ao *vibrato* de boca se concentrou nas notas mais graves que, como visto anteriormente, são irradiadas também pelo tampo inferior do instrumento e poderiam sofrer alterações ao se movimentar a mão próximo à camada de ar. As notas que obtiveram maior resposta com esta técnica foram as notas situadas entre sol grave e lá grave (próximas da frequência de ressonância do instrumento). Para também evitar qualquer movimento do corpo do instrumento que pudesse interferir nas análises, todas as notas foram gravadas com o violão posicionado em uma superfície plana. A figura abaixo sintetiza os resultados obtidos:

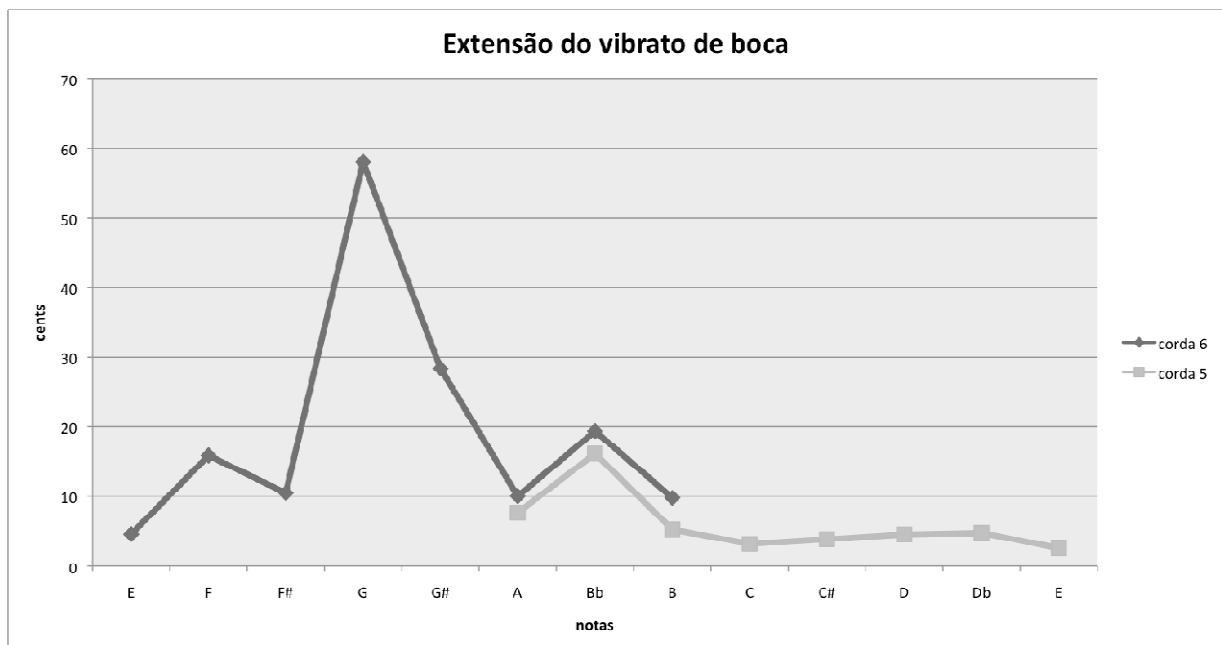


Figura 4.3: Extensão em cents do *vibrato* de boca nas duas cordas graves do violão.

Após a análise dos resultados desse experimento, foi possível compreender que o *vibrato* de boca, nas notas onde é possível sua realização, não só provoca uma variação na altura da nota, como provoca pulsos também na amplitude e uma notável variação na centroide espectral (ver seção 2.3.3). Este pequeno experimento, além de demonstrar a efetividade do *vibrato* de boca no registro grave de um violão, possibilitou algumas observações sobre este fenômeno e suscitou algumas tentativas de explicação que, por enquanto, ainda devem ser consideradas como especulação (o que indica que o *vibrato* de boca merece um estudo específico). As principais observações são:

a) oscilações na curva de amplitude sempre acontecem, independentemente da extensão da variação de frequência. Acreditamos que isto se dê pela interferência da mão na projeção sonora.

b) oscilações da curva de centroide também acontecem (ao contrário dos sons normais, nos quais a curva é sempre descendente), e podem estar ligadas a filtragem devida à presença da mão.

c) a variação de frequência se dá muito mais nos componentes graves do que nos componentes agudos da nota tocada, o que aponta para a ressonância do corpo do violão como um dos elementos fundamentais neste *vibrato*.

d) o *vibrato* de boca não afeta a frequência de vibração da própria corda, pois, em testes preliminares realizados com um violão de captação piezo-elétrica (que capta apenas a vibração das cordas), nenhuma alteração na altura e amplitude das notas foi percebida.

Frente a essas observações, acreditamos que uma hipótese de partida para uma abordagem detalhada desse *vibrato* possa ser o caso de um oscilador harmônico (o corpo do instrumento) excitado por uma força externa (a vibração da corda e tampo), levando-se em conta que neste caso a ressonância do oscilador varia, enquanto a frequência de excitação se mantém.

Experimento 2

Neste experimento foram gerados, para cada sujeito analisado, diagramas de caixa contendo os dados coletados das performances dos dois tipos de *vibrato* mais comuns (longitudinal e transversal) nas três velocidades de execução do ornamento. Os diagramas relacionados às taxas de *vibrato* podem ser observados a seguir:

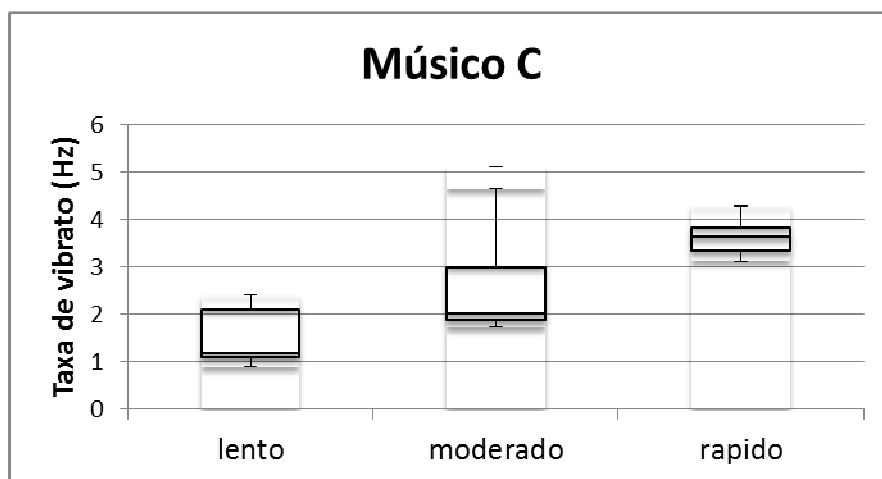
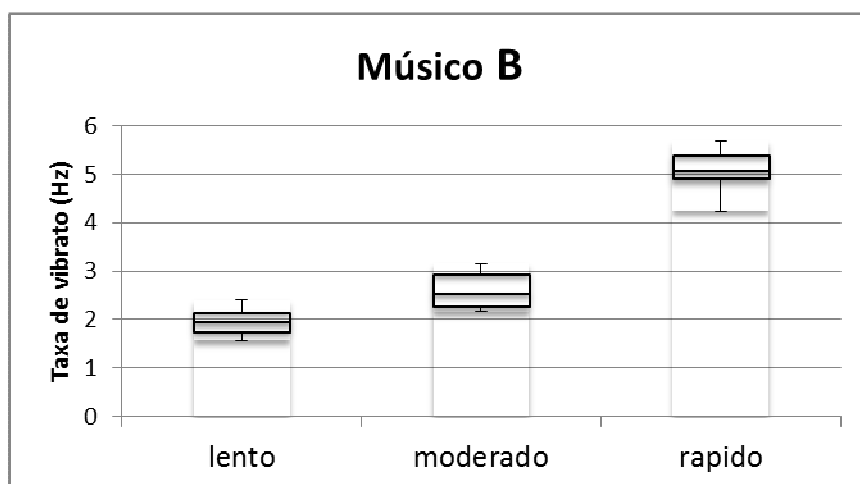
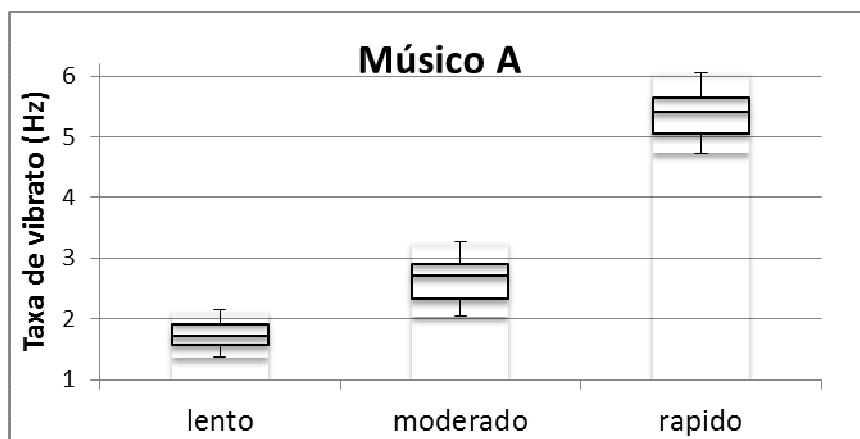


Figura 4.4: *Box plot* com os dados relacionados às taxas de *vibrato* para cada sujeito analisado.

É possível perceber com esses dados que os músicos A e B obtiveram variações menores nas taxas de *vibrato* nas três velocidades, enquanto o músico C apresentou, principalmente nas velocidades lenta e rápida, maior variação. Nesses diagramas estão plotados tanto os dados relacionados ao *vibrato* longitudinal quanto ao transversal, o que nos mostra que, para os dois primeiros sujeitos, as diferentes

técnicas resultaram em taxas semelhantes (na maioria das vezes), com poucas taxas próximas ou acima de 6 hz nos casos de *vibratos* rápidos. Uma hipótese para os resultados diferenciados do músico C está no fato de o sujeito ser, entre os três participantes do experimento, o mais inexperiente deles.

As taxas médias para cada sujeito em cada velocidade, assim como seu desvio padrão podem ser observadas na tabela a seguir:

Taxa de *vibrato*

músico	velocidade	média (Hz)	desvio padrão (Hz)
A	lento	1,76	0,26
	moderado	2,65	0,41
	rápido	5,39	0,43
B	lento	1,95	0,29
	moderado	2,61	0,38
	rápido	5,12	0,41
C	lento	1,47	0,56
	moderado	2,57	1,12
	rápido	3,61	0,36

Assim, olhando apenas para a taxa de *vibrato*, os sujeitos A e B obtiveram resultados próximos, enquanto o músico C apresentou *vibratos* mais lentos, mostrando também menos controle de velocidade na realização do ornamento. Para compreender melhor a diferença das duas técnicas com relação à taxa de *vibrato*, devemos observá-las separadamente:

músico	velocidade	média long. (Hz)	média transv. (Hz)
A	lento	1,62	1,89
	moderado	2,37	2,94
	rápido	5,39	5,40
B	lento	2,07	1,84

	moderado	2,69	2,54
	rápido	5,4	4,83
C	lento	1,04	1,89
	moderado	2,07	3,06
	rápido	3,45	3,83

Analisando esta tabela, podemos concluir que: para o músico A, as taxas de *vibrato* foram próximas em ambas as técnicas (principalmente em velocidades rápidas); para o músico B, a média das taxas de *vibrato* transversal foram menores que no *vibrato* longitudinal; e o músico C apresentou resultados diferentes dos demais, tendo todas as suas médias de *vibrato* transversal mais altas que no longitudinal, ainda que seus *vibratos* rápidos tenham sido bem mais lentos que os dos demais sujeitos. Nessa perspectiva, no que diz respeito à taxa de *vibrato*, podemos dizer que, utilizando as duas técnicas, os sujeitos apresentaram um satisfatório grau de controle da velocidade do ornamento, em que $A > B > C$. Utilizando esses dados, o resultado do Teste t de Student dos sujeitos (concernente à taxa de *vibrato*) foi:

- Teste de Student* – valores de p:

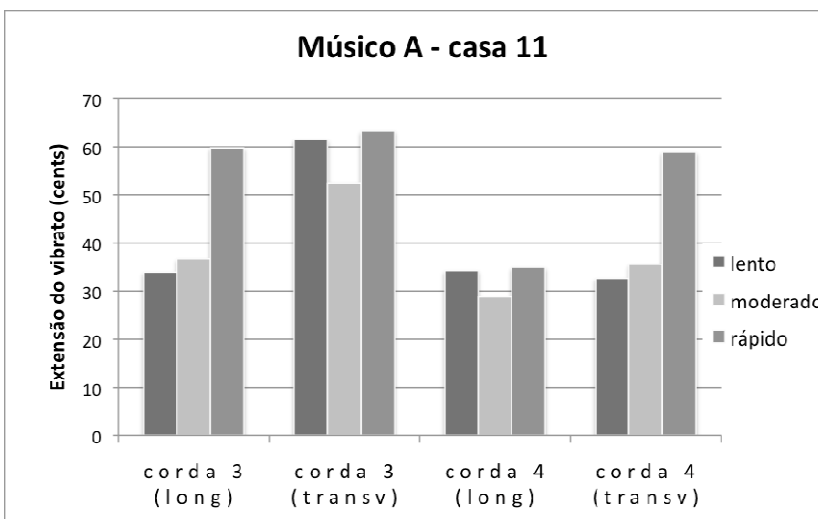
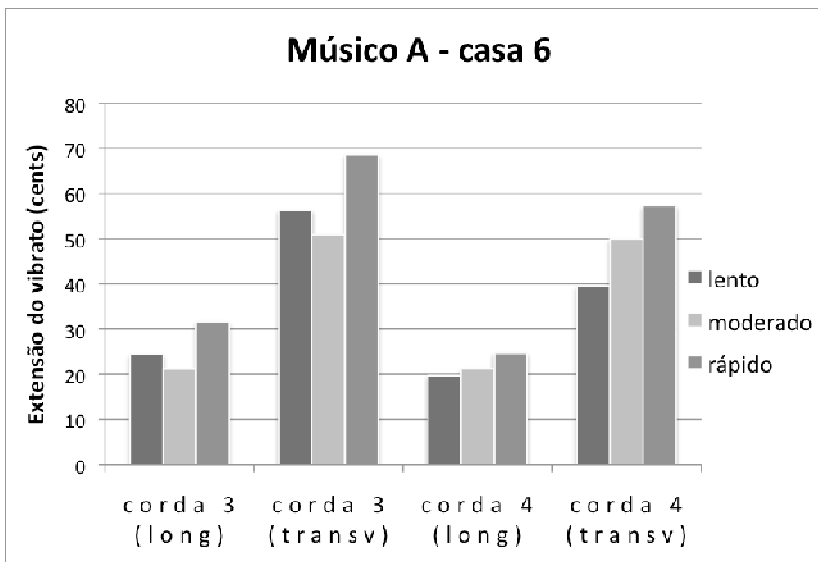
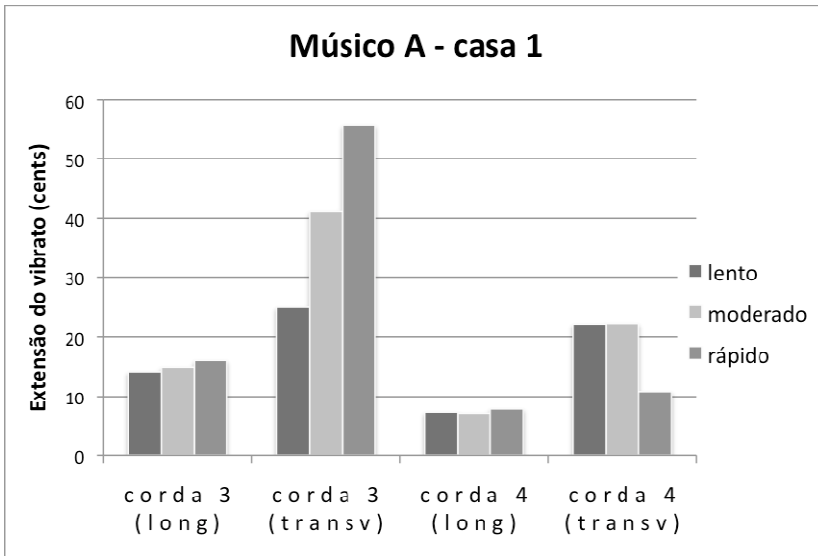
músico	lento/moderado	moderado/rápido
A	2.2×10^{-6}	7.2×10^{-9}
B	1.6×10^{-6}	$7,6 \times 10^{-10}$
C	0,01	0,004

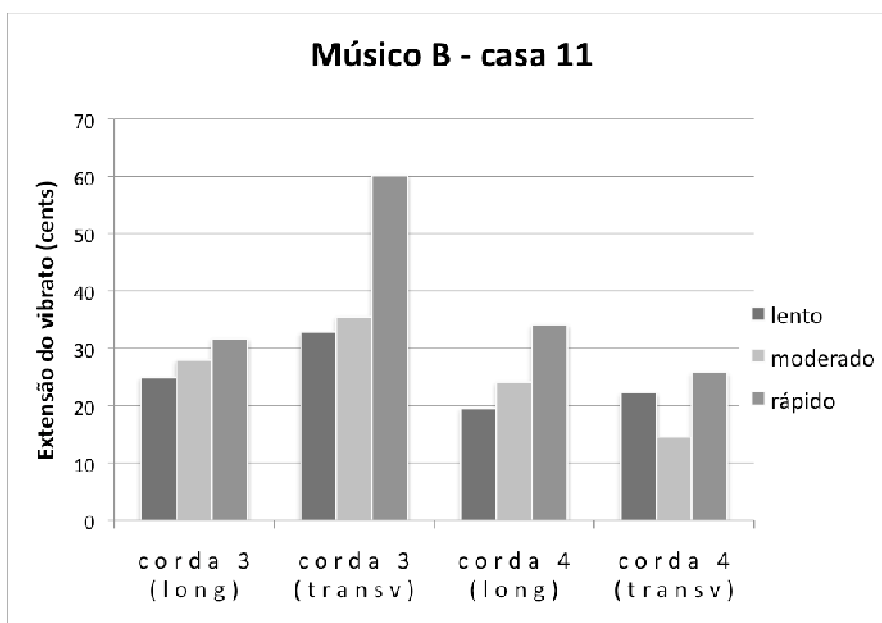
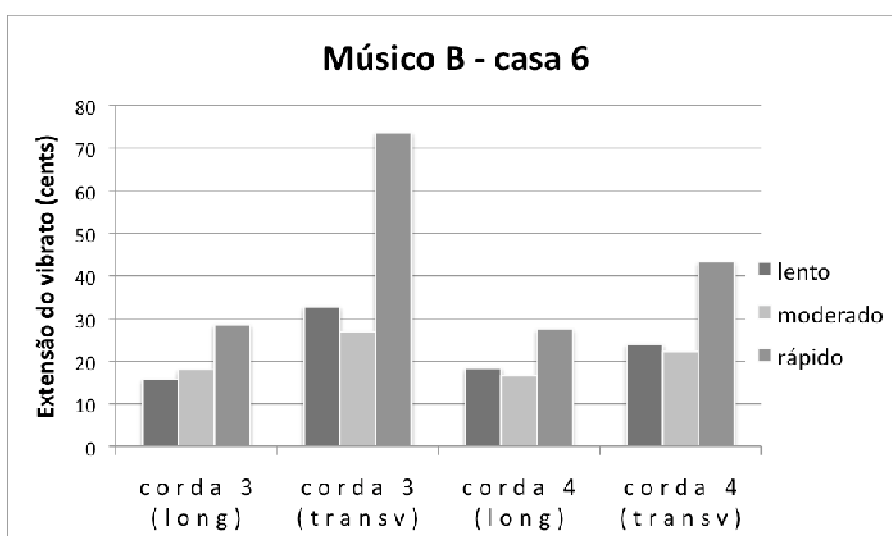
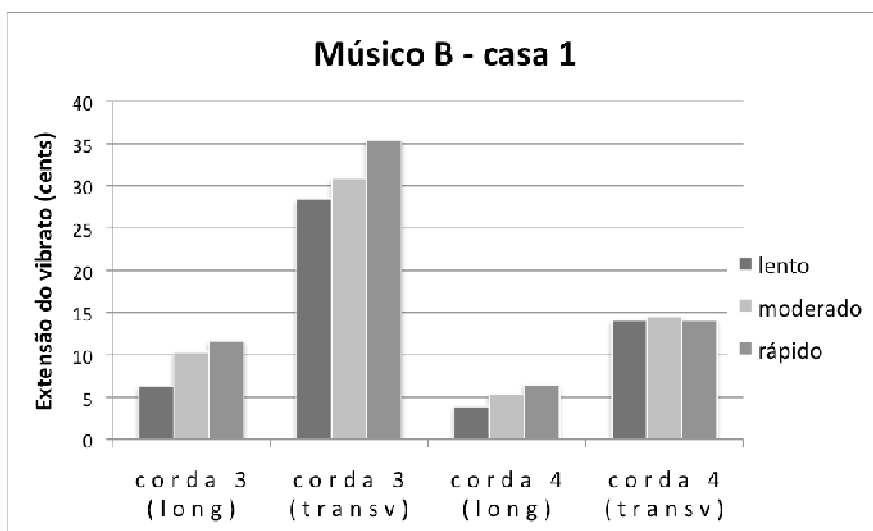
* Calculado com distribuição unicaudal e pareada.

Extensão do *Vibrato*

Outro parâmetro importante para a técnica do *vibrato* é sua extensão. Vimos anteriormente que, em determinadas regiões do violão, como nos primeiros trastes do instrumento, é mais difícil realizar o *vibrato* longitudinal, o que pode provocar

ornamentos com extensões mais baixas. A variação da extensão do *vibrato* para cada técnica representa, então, um dado importante para esta discussão. Para compreendermos se as regiões do instrumento, o material da corda (nylon ou aço), ou até mesmo a taxa, podem interferir diretamente na extensão do *vibrato*, gráficos comparando estes aspectos foram gerados, a fim de facilitar a visualização e discussão dos mesmos. Os dados obtidos podem ser observados nos nove gráficos a seguir:





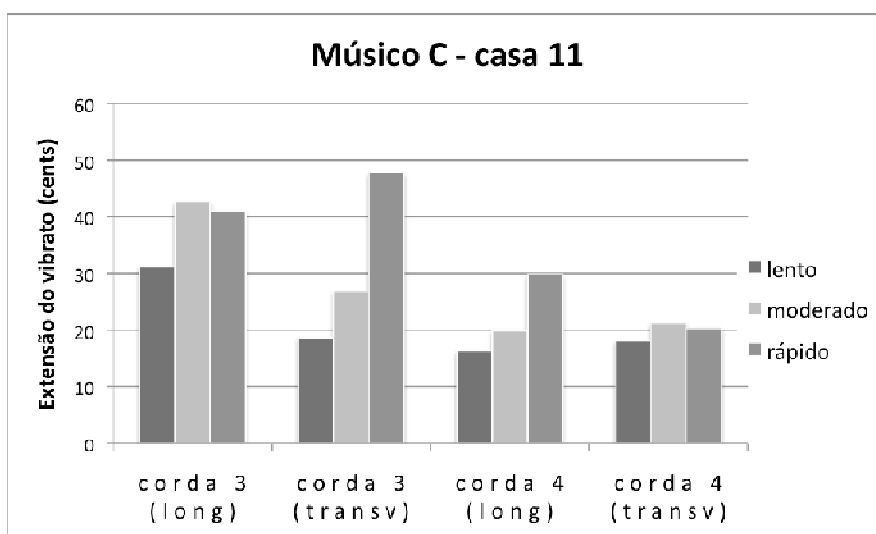
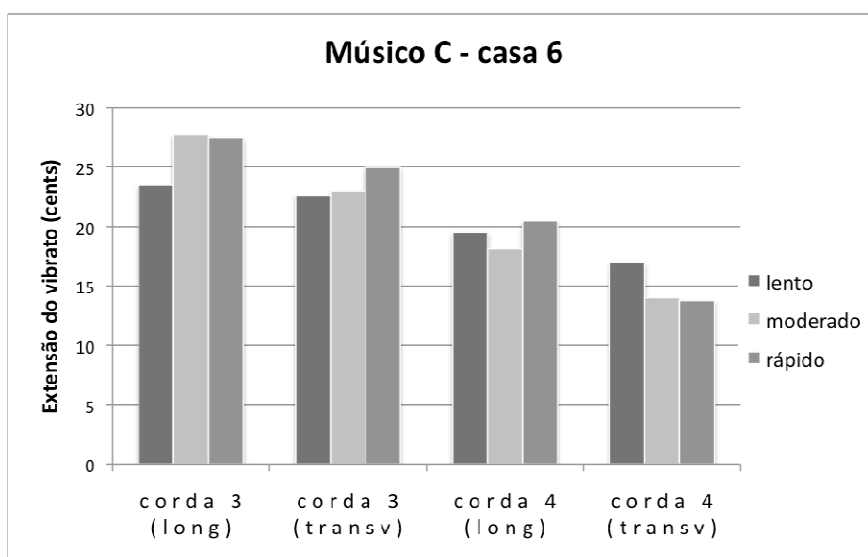
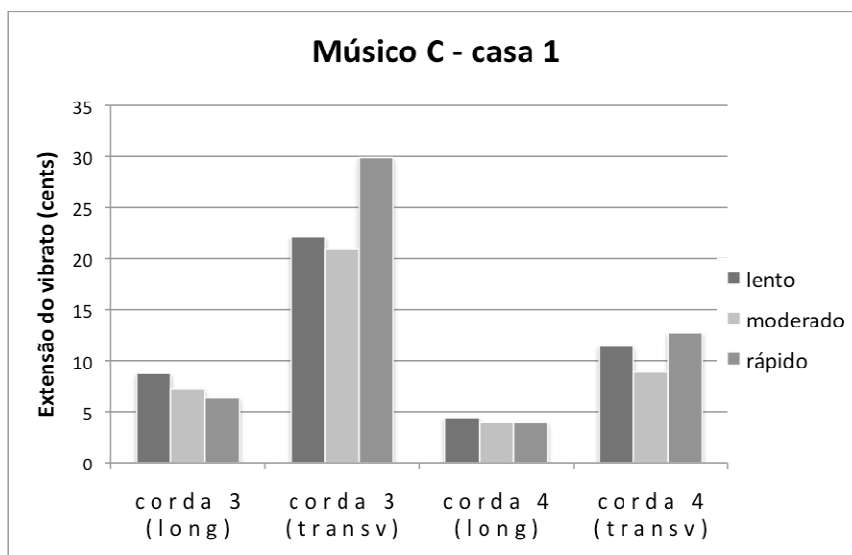


Figura 4.5: Gráficos da extensão do *vibrato* (cents) para cada técnica tocada, nas diferentes cordas e regiões do instrumento.

Após a análise dos gráficos, podemos observar, no que diz respeito à extensão do *vibrato*:

- A região onde o ornamento foi tocado (primeira, sexta e décima primeira casa) parece sugerir uma interferência na extensão. No *vibrato* longitudinal, a primeira casa do instrumento apresentou valores baixos na extensão para os três sujeitos, percebendo-se também uma influência do material da corda, onde os valores para as cordas de aço ainda foram mais baixos que nas cordas de nylon. Para os músicos A e B, o aumento da velocidade do ornamento contribuiu para o aumento da extensão na primeira casa, enquanto o músico C apresentou valores inversos. Neste caso, o *vibrato* transversal se mostrou mais eficaz que o longitudinal, no que diz respeito à extensão do ornamento.

Nas outras duas regiões (casas 6 e 11), os valores para a extensão foram mais próximos para os dois tipos de *vibrato*, tendo os *vibratos* longitudinais alcançado valores bem mais altos do que na casa 1. Para os sujeitos A e B, a relação entre os *vibratos* longitudinais e transversais se manteve, principalmente se observarmos os *vibratos* rápidos, em que os longitudinais apresentaram extensões mais baixas nessas regiões que os transversais. Tal resultado era esperado, visto que, com o devido controle, o *vibrato* transversal provoca um maior “esticamento” da corda que o longitudinal. O músico C fugiu um pouco desse padrão, principalmente na casa 6. Novamente, a velocidade do ornamento contribuiu para um leve aumento na extensão, principalmente no caso dos dois primeiros sujeitos.

Concluindo, após a análise dos dados coletados no experimento, podemos sugerir que a região onde o ornamento é tocado possui grande influência em sua extensão, que pode também sofrer a influência do material e da velocidade do ornamento. De uma forma geral, podemos afirmar também que o *vibrato* transversal é mais indicado para as primeiras casas do violão. Nas demais regiões, ambas as técnicas apresentaram resultados satisfatórios. A técnica do *vibrato* transversal pode ser utilizada também nas demais regiões do instrumento quando o objetivo do músico for variar bastante a extensão, visto que, no *vibrato* longitudinal, a maior variação encontrada nos três sujeitos foi de 59,79 cents (para um ornamento realizado em velocidade rápida na décima primeira casa). Utilizando-se a técnica transversal, valores próximos a este podem ser mais facilmente obtidos em outras regiões.

A regularidade do *vibrato*, ou seja, a manutenção do padrão do ornamento através do tempo, mantendo a taxa e a extensão idealmente constantes, é também um parâmetro importante para a discussão da técnica. A delimitação do traste no *vibrato* longitudinal parece contribuir para um movimento mais regular, visto que no *vibrato* transversal a falta de delimitação exige do instrumentista mais atenção na realização do movimento, podendo às vezes gerar *vibratos* menos constantes, como podemos observar nas figuras a seguir, principalmente no caso do músico C:

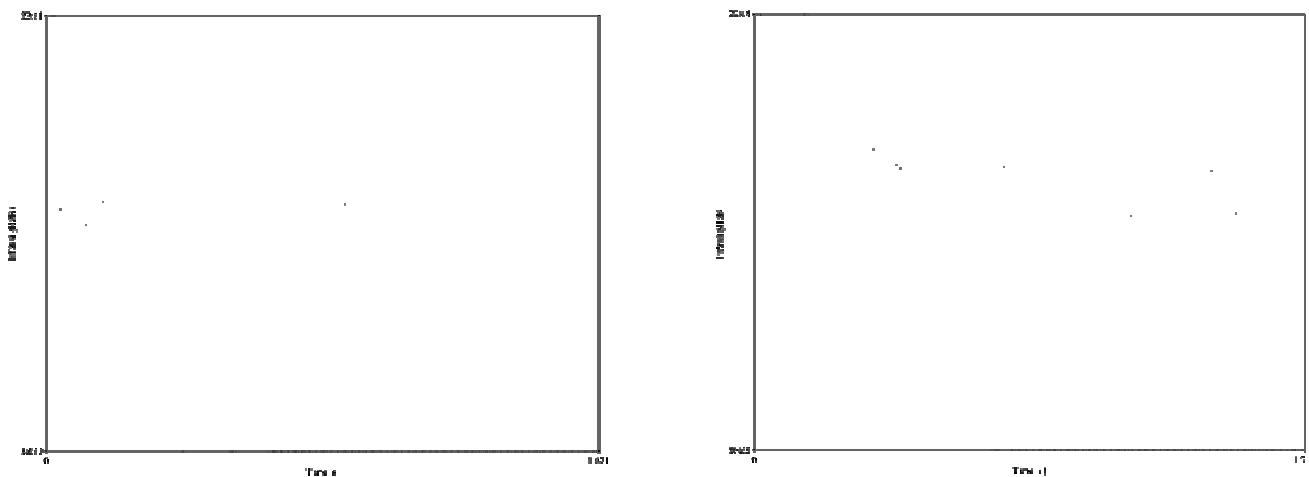


Figura 4.6: Nota sol# tocada na corda 4, com *vibratos* longitudinal e transversal, pelo músico A. Pode-se perceber, na primeira imagem, que a extensão do *vibrato* se encontra um pouco mais homogênea.

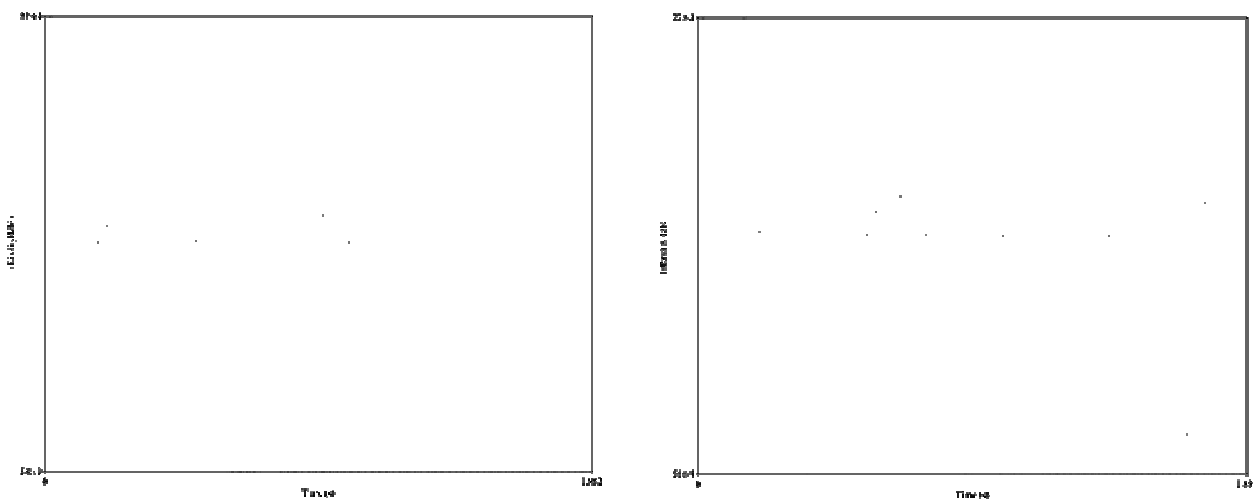


Figura 4.7: Nota sol# tocada na corda 4, com *vibratos* longitudinal e transversal, pelo músico B. Pode-se perceber, na primeira imagem, que a extensão do *vibrato* se encontra um pouco mais homogênea.

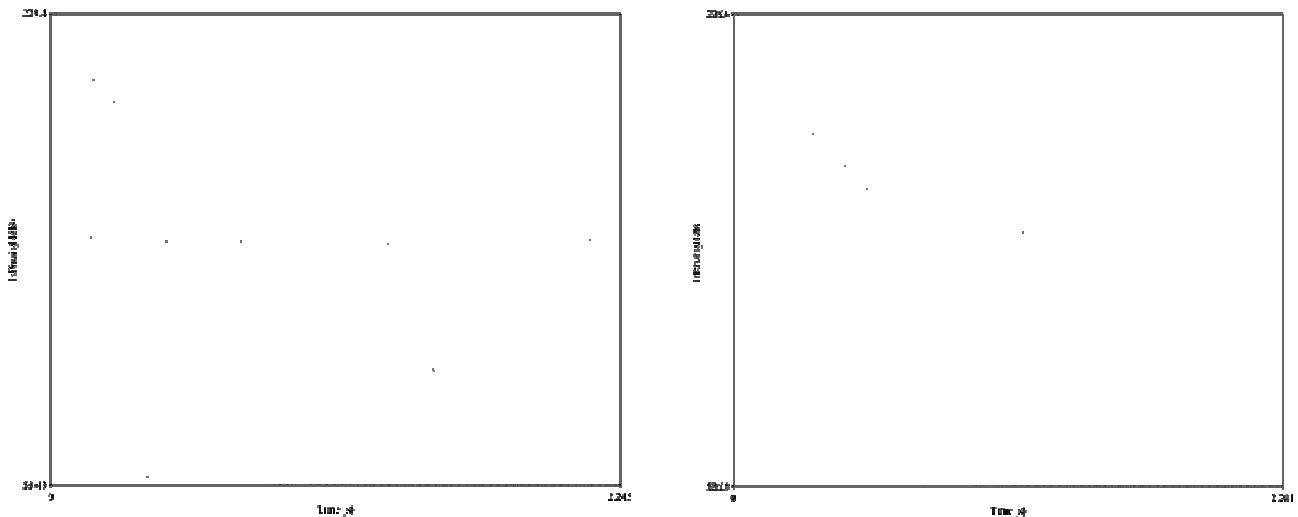


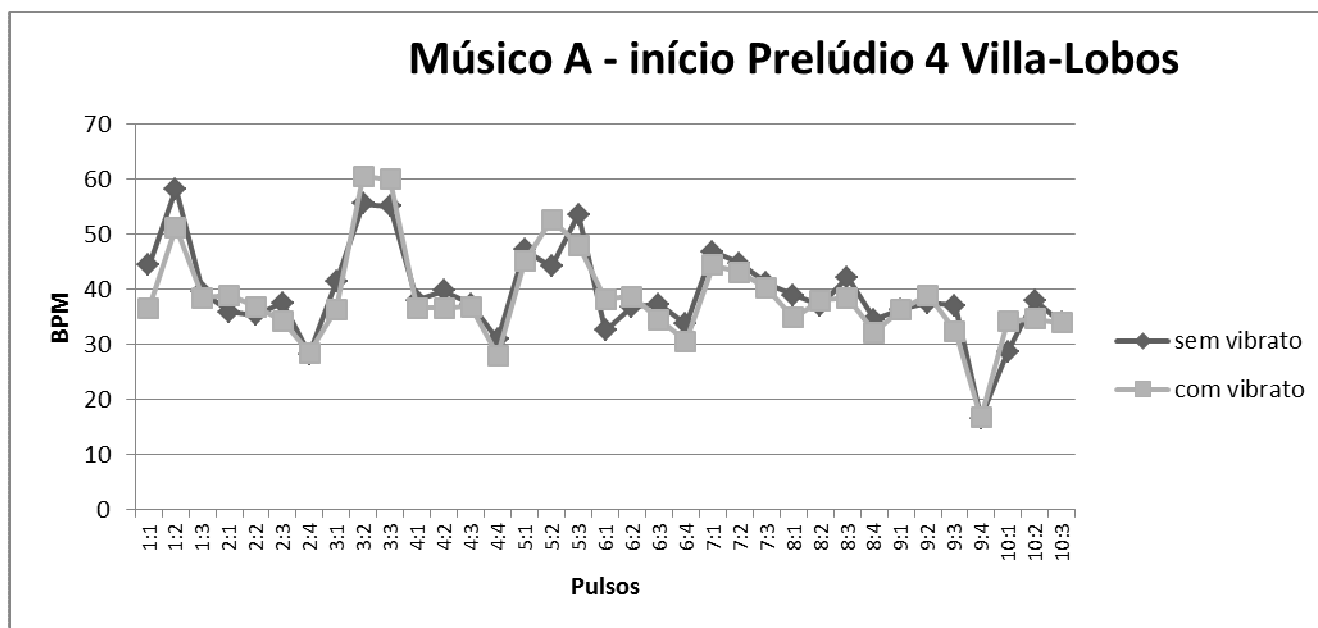
Figura 4.8: Nota sol# tocada na corda 4, com *vibratos* longitudinal e transversal, pelo músico C. Pode-se perceber, na primeira imagem, que a extensão do *vibrato* se encontra bem mais homogênea que na segunda.

Algumas das notas tocadas com *vibrato* transversal apresentaram formas de onda tão irregulares, que dificultaram o cálculo da taxa de *vibrato*. Tais resultados podem levar a crer que o *vibrato* transversal é menos utilizado (e conseqüentemente menos praticado) pelos três sujeitos, em especial o músico C. Em uma análise visual das imagens geradas, o músico B apresentou *vibratos* transversais um pouco mais regulares que os demais na maioria das notas.

Experimento 3

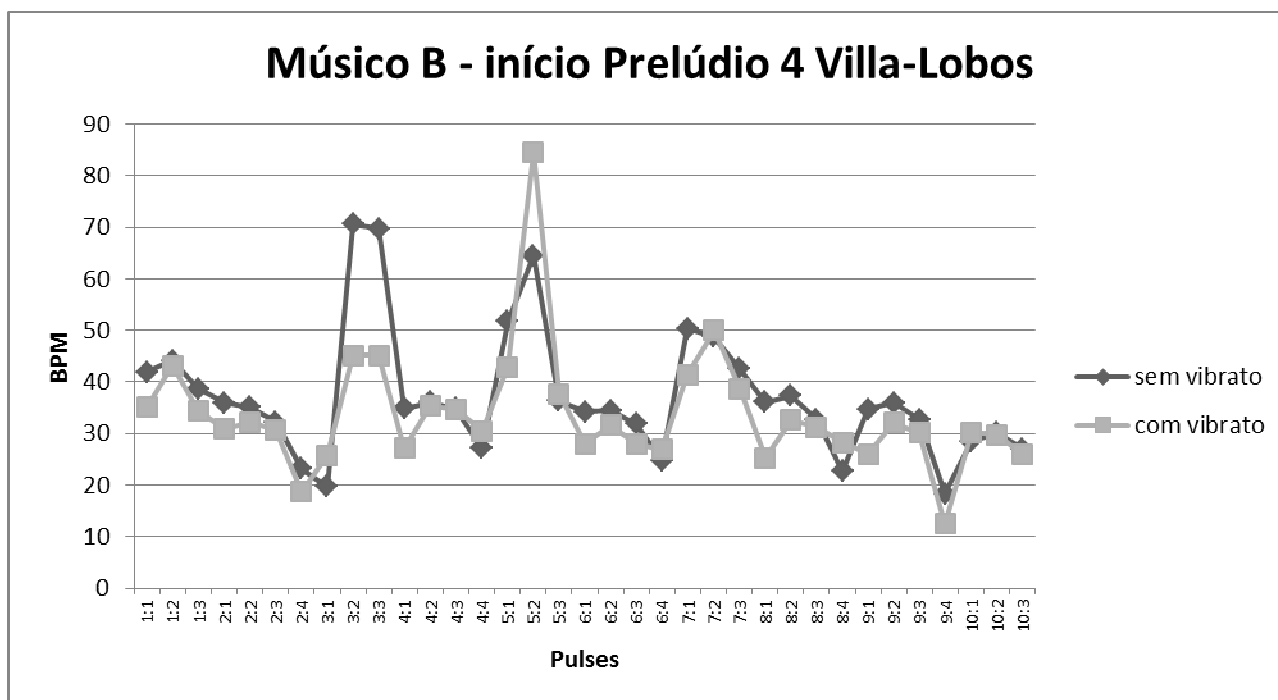
Na performance do “Prelúdio 4”, os sujeitos A e C utilizaram apenas o *vibrato* longitudinal quando tocaram a peça pela segunda vez, enquanto o músico B usou as duas técnicas, aplicando o *vibrato* transversal nos compassos 8 e 9, que possuem notas longas na primeira e segunda casas do violão. Cada instrumentista apresentou performances distintas da peça no que tange à variação do tempo (pulso), portanto não será feita uma comparação das performances dos músicos entre si, mas uma comparação de cada performance com e sem *vibrato*, por músico.

Músico A: A variação de tempo do músico A nas duas execuções da peça pode ser observada no gráfico a seguir:



Apesar de as duas performances não estarem muito diferentes, podemos notar, logo nos primeiros dois pulsos, que o valor do andamento (em BPM) está mais lento na performance com *vibrato* do que na sem. Este fato pode estar relacionado com um *vibrato* aplicado na primeira nota da peça. O terceiro compasso (pontos 3:1 a 3:3) parece sofrer alguma influência do *vibrato* tocado na cabeça do compasso. Após a nota, o músico realizou um acelerando maior na segunda performance. No restante da performance, a inserção de *vibratos* não parece ter alterado drasticamente o andamento da peça, mas podemos notar uma pequena variação de andamento da primeira para a segunda gravação no ponto 8:1, em que foi utilizado um *vibrato*. Nos trechos que apresentam maiores diferenças, como no ponto 5:2, não foram tocados *vibratos*. Conclui-se que, nas performances do músico A, a inserção de *vibratos* provocou pequenas alterações nas duas performances, mas, de uma forma geral, as execuções foram bem próximas.

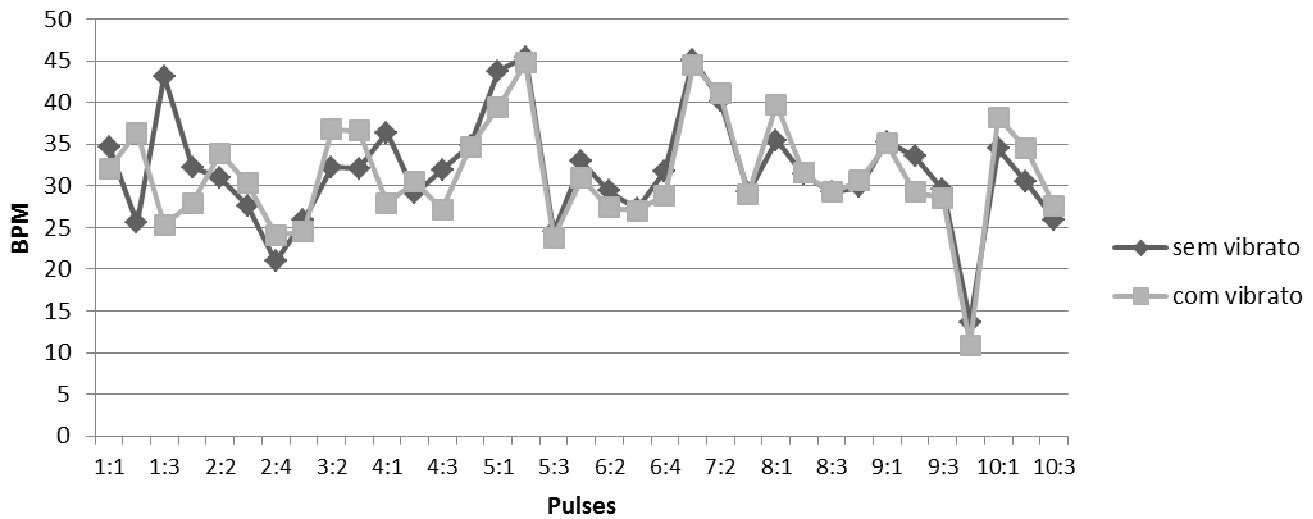
Músico B: A variação de tempo do músico B nas duas execuções da peça pode ser observada no gráfico a seguir:



As performances do músico B apresentaram variações maiores nos pulsos, principalmente nos compassos 3 e 5. Novamente, notamos que logo no primeiro compasso temos pulsos mais lentos, que podem ter sido provocados pelos *vibratos* aplicados em 1:1 e 1:3. No compasso 3, são utilizados *vibratos* nos pontos 3:1 e 3:3 (nota atacada no contratempo do 3:2 para o 3:3), que podem ter contribuído para a diferença de tempo nesse trecho. No quinto compasso foram utilizados *vibratos* nos pontos 5:1 e 5:3, sendo que o segundo destes parece contribuir para os valores mais lentos encontrados nesse trecho da performance (comparada com a primeira). O pico encontrado no ponto 5:2 acontece porque o músico, na versão com *vibrato*, toca a quiáltera muito mais rápido que na primeira versão. Isso pode, talvez, ter sido influenciado pelo atraso do primeiro tempo (nota com *vibrato*). Por último, nos pontos 8:1, 9:1 e 9:4, observamos *vibratos* aplicados, que parecem contribuir também para as diferenças entre as performances.

Músico C: A variação de tempo do músico C nas duas execuções da peça pode ser observada no gráfico a seguir:

Músico C - início Prelúdio 4 Villa-Lobos



O músico C inicia a peça com *vibratos* nos pontos 1:1, 1:3 e 2:1, fato que parece influenciar bastante sua segunda performance neste trecho. *Vibratos* também foram utilizados nos pontos 3:1, 3:3 e 4:1, onde foram encontradas claras diferenças na performance. Nos demais trechos, a presença do ornamento não parece exercer grandes influências nos pulsos.

Uma característica interessante nas performances dos três sujeitos está relacionada ao compasso 3. Nenhum dos três músicos tocou este trecho muito próximo do que está escrito na partitura (nas duas versões), e, curiosamente, os músicos A e B ainda realizaram um *acelerando* nos compassos 2 e 4, deixando o valor do pulso médio do compasso 3 bem mais baixo, o que não foi observado no músico C.

Conclusão

O presente trabalho pode ser dividido, simplificadaamente, em duas partes:

Na primeira parte, denominada "Teoria e conceitos", foi realizada uma revisão bibliográfica do ornamento *vibrato*, fazendo considerações que abarcaram desde a origem do termo até sua aplicação no violão, instrumento foco da pesquisa empírica. Tal revisão se fez necessária para construir o arcabouço teórico que nortearia a fase experimental da pesquisa. Um breve histórico do violão e de suas características físicas e da técnica do instrumento também foi apresentado, assim como uma breve apresentação das ferramentas de análise possíveis para a pesquisa empírica. Ao fim dessa primeira parte, foi apresentada a tipologia do *vibrato* no violão, mostrando as quatro possíveis técnicas para a realização do ornamento no instrumento.

Na segunda parte, "Experimentos", foi descrita toda a metodologia utilizada nos três experimentos e a discussão de seus resultados. Os resultados obtidos nos experimentos nos ajudaram a fazer as seguintes colocações:

A metodologia de análise por extração de f_0 se mostrou adequada para o *vibrato* violonístico. Através desta ferramenta, foi possível determinar, para todas as notas gravadas, as taxas de *vibrato* e a extensão e analisar visualmente a forma de onda do ornamento, o que nos possibilitou discorrer sobre a regularidade e a homogeneidade de cada técnica de *vibrato*. A utilização do PRAAT associada ao violão hexâfonico possibilitou, nos dois experimentos, a gravação de amostras limpas, sem ruídos externos e praticamente sem a influência da vibração das demais cordas do instrumento. Tal *setup* de gravação e análise pode ser utilizado novamente em outros experimentos.

Não foi possível determinar nas gravações realizadas a ocorrência do *vibrato* de tempo. Isso sugere que tal técnica na verdade pode estar mais relacionada a um efeito performático, que pode trazer elementos visuais a performance, e quem sabe até confundir o ouvinte, mas não contribui efetivamente para alterar a altura da nota tocada. Outra hipótese é a de que tal técnica provoca algum tipo de movimento no corpo do instrumento (quando realizada em situações normais de performance) que pode realizar, através deste, alguma variação de altura por efeito *doppler*, mas tal possibilidade não foi efetivamente investigada.

Já no *vibrato* de boca, foi observado que algumas notas, localizadas no espectro mais grave do violão, podem ser manipuladas pelo movimento da mão na cavidade de ar, provocando não só uma variação na altura das mesmas, mas uma variação na amplitude e na centroide espectral, sem que tal movimento altere a frequência de vibração da corda. Tal técnica pode então ser utilizada em alguns casos, visto que ela possui, além de uma característica visual, a real possibilidade de alterar a altura juntamente com outros elementos físicos da nota tocada. As características físicas desta técnica de *vibrato* ainda se encontram em caráter especulativo, o que indica que o *vibrato* de boca merece um estudo específico, que se aprofunde nas características do instrumento como um ressonador de helmholtz e as implicações físicas de se aproximar a mão da cavidade de ar.

O segundo experimento, realizado com três sujeitos, nos possibilitou comparar as duas principais técnicas do *vibrato* violonístico: os *vibratos* longitudinal e transversal. Foi possível observar, durante o processo da análise das amostras coletadas, que o *vibrato* violonístico é, de uma forma geral, um *vibrato* de variação de altura, em que as variações de amplitude normalmente não ocorrem. Quando é percebida alguma variação na amplitude, tal variação se dá simultaneamente e em fase com a variação de frequência, mas não parece ser significativa, visto que, na maioria dos casos, não apareceu.

Os efeitos do *pitch glide* (variação de altura no início da nota tocada no violão) não foram significativos para alterar as análises das duas técnicas de *vibrato*. De uma forma geral, o experimento mostrou que, dentre os músicos analisados, a taxa de *vibrato* variou de 1,04 hz (para o valor médio mais baixo encontrado) até 5,4 hz (para o valor médio mais alto encontrado). Os três sujeitos apresentaram, de uma forma geral, mais facilidade na realização do *vibrato* longitudinal que no transversal.

Ainda no que concerne à taxa do ornamento, foi possível perceber claramente por meio do experimento que tanto a região (casa) onde o *vibrato* foi realizado quanto o material da corda interferiram diretamente na realização do ornamento. Casas próximas à mão do instrumento (casas 1, 2) mostraram-se mais difíceis de realizar *vibratos*, assim como ocorreu nas cordas de aço em comparação às cordas de nylon. No caso dos três instrumentistas analisados, as taxas médias para cada velocidade se mostraram significativamente mais baixas que na pesquisa realizada por Dirk Moelants (2004).

A extensão do *vibrato* é diretamente afetada pela região tocada, principalmente no longitudinal, sendo também influenciada pelo material da corda e pela velocidade do ornamento. Um estudo realizado com um número maior de sujeitos e amostras mais consistentes pode contribuir para comprovar estas afirmações, visto que as amostras do sujeito C, em alguns casos, se comportaram de maneira um pouco diferente dos outros dois sujeitos participantes da pesquisa. É possível afirmar também que o *vibrato* transversal é uma opção mais eficaz quando a nota é tocada nos primeiros trastes do instrumento, pois pode atingir extensões bem maiores.

Os experimentos realizados nessa pesquisa corroboraram os escritos de Abel Carlevaro sobre o *vibrato*. Em sua obra *Escuela de la Guitarra* (CARLEVARO, 1985), o autor afirma que o *vibrato* longitudinal possui uma variação de altura acima e abaixo da nota tocada, mas que, para tal, é necessário possuir um comprimento razoável de corda nos dois lados (antes e depois da casa pressionada), fato comprovado pelo experimento 2. Carlevaro também nos mostra que, para situações em que o comprimento da corda antes da casa pressionada é muito pequeno, o *vibrato* transversal é uma possibilidade. As formas de onda idealizadas por Carlevaro, nas quais o *vibrato* longitudinal se assemelha a uma senoide e a média dos picos e vales é a frequência fundamental da nota e no caso do *vibrato* transversal os picos de altura sempre acima da frequência fundamental, também foram encontradas na maioria das notas, como podemos observar na figura a seguir:

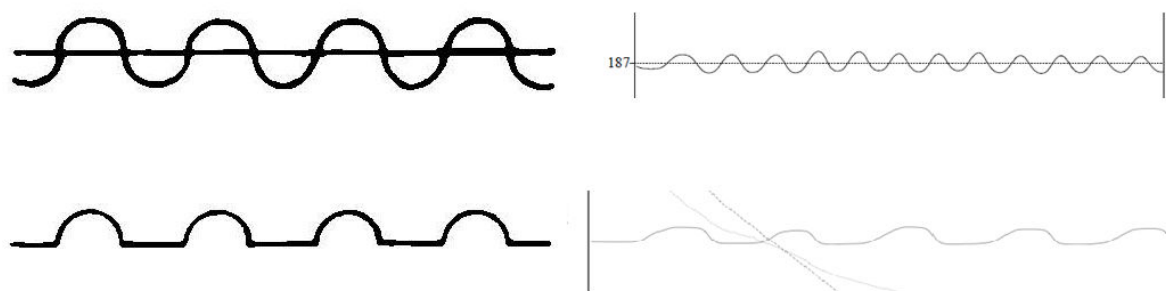


Figura 5.2 - À esquerda: Representações de Abel Carlevaro (1985) do resultado da variação de altura dos *vibratos* longitudinal (acima) e transversal. À direita: Exemplo de notas analisadas na pesquisa.

A regularidade das duas técnicas também foi discutida, mostrando que, nas amostras coletadas, os *vibratos* longitudinais possuíam formas de onda mais regulares, o que nos leva a crer que tal técnica seja mais fácil de controlar. A dificuldade dos sujeitos em realizar movimentos homogêneos, ou seja, uma simetria gestual na realização do ornamento através do tempo (principalmente no *vibrato* transversal) foi evidenciada pela falta de simetria nas curvas de f_0 . Em alguns casos,

encontrados principalmente no músico C, tal assimetria dificultou a extração correta da taxa de *vibrato*.

No último experimento, podemos discutir a possível interferência da aplicação de *vibratos* na execução de um trecho musical, alterando um pouco a relação dos pulsos da peça. O experimento nos mostrou que a realização de *vibratos* nas notas mais longas do trecho pode ter influenciado nas variações de agógica das execuções, mas (talvez pelo fato de o experimento ter sido realizado com poucos sujeitos) não foram sempre como esperado (esperava-se que o *vibrato* fosse provocar sempre um desaceleramento nos trechos aplicados). Existem outros fatores interpretativos em jogo que podem mascarar esta influência e devem ser futuramente estudados. Talvez uma análise da duração das notas com e sem *vibrato* possa ajudar a clarear estas questões.

Estudos com mais sujeitos podem também elucidar melhor estas características, assim como a inserção de outras variáveis nas análises.

Trabalhos futuros

A questão da percepção dos ouvintes para o *vibrato* violonístico não foi abordada neste estudo, mas é de extrema importância para uma melhor compreensão das diferentes técnicas de *vibrato* encontradas no violão. Estudos mais detalhados sobre o *vibrato* de boca também podem contribuir para esclarecer melhor o que acontece nessa técnica.

Bibliografia

- ALTAMIRA, I. R. *Historia de la guitarra y los guitarristas españoles*. Alicante: Editorial Club Universitario, 2005.
- BEAUCHAMP, J. W. Unix Workstation Software for Analysis, Graphics, Modification, and Synthesis of Musical Sound. In: *Audio Engineering Society Convention 94*. Audio Engineering Society, 1993.
- BICKFORD, V. O. *Method for classic guitar*. New York: Peer Int. Corporation, 1964.
- BOERSMA, P.; WEENINK, D. *Praat: doing phonetics by computer*, [s. d.]. Disponível em: <<http://www.praat.org>>. Acesso em: 20 abril 2014.
- BRESIN, R.; BATTEL, G. Articulation strategies in expressive piano performance. *Journal of New Music Research*, n. 29, p. 211-224, 2000.
- CANAZZA; DE POLI; RINALDIN; VIDOLIN. Sonological Analysis of Clarinet Expressivity. In: LEMAN, M. (Org.). *Music, Gestalt and Computing: Studies in Cognitive and Systematic Musicology*. Berlin-Heidelberg: Springer Verlag, 1997.
- CARLEVARO, A. *School of guitar*. London: Boosey & Hawkes, 1985.
- CHANAUD, R. C. Effects of geometry on the resonance frequency of Helmholtz resonators. *Journal of Sound and Vibration*, v. 178, n. 3, p. 337-348, 1994.
- DALSANT, J. *Avaliação de duas ferramentas para a representação das variáveis acústicas implicadas no vibrato da flauta*. 2011. Dissertação (Mestrado em Música) – Escola de Música, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.
- DAMSTÉ, H.; REINDERS, A.; TEMPELAARS, S. *Why should voices quiver*. *Vox Humana*, Studies presented to Aatto Sonninen, p. 26-34, 1982.
- DEJONCKERE, P. H.; MINORU, H.; SUNDBERG, J. *Vibrato*. San Diego: Singular Publishing Group, 1995.
- DILLON, R. *On the recognition of expressive intentions in music playing: a computational approach with experiments na aplicações*, 2004. Dissertação (Ph.D in Music) – InfoMus Lab, DIST – University of Genoa, 2004.
- DILLON, R. *Extracting audio cues in real time to understand musical expressiveness*. Laboratory of Musical Informatics – University of Genoa, 2002.
- DUDEQUE, N. E. *História do violão*. Curitiba: Ed. Da UFPR, 1994.
- DROMEY, C.; SMITH, M. E. Vocal tremor and *vibrato* in the same person: acoustic and electromyographic differences. *Journal of Voice*, v. 22, n. 5, p. 541-545, 2008.

FLETCHER, H.; SANDERS, L. C. Quality of violin *vibrato* tones. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 41, n. 6, p. 1534-1544, 2005.

FLETCHER, N. H.; ROSSING, T. D. *The physics of musical instruments*. New York: Springer, 1998.

FREIRE, S.; NÉZIO, L.; PIMENTA, R. Descrição de um sistema para estudo das possibilidades articulatórias da mão direita de violonistas. In: *Anais do XXI Congresso da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Música*, Uberlândia, 2011.

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

GUTIÉRREZ, E. *Melodic Description of Audio Signals for Music Content Processing*. Barcelona: Pompeu Fabra University, 2002.

GERINGER, J. M.; ALLEN, M. L. An analysis of *vibrato* among high school and university violin and cello students. *Journal of Research in Music Education*, v. 52, n. 2, p. 167-178, 2004.

HENRIQUE, Luís L. *Acústica musical*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2002.

INTA, Ra. *The acoustics of the steel string guitar*. 2007, Tese (Doutorado em Física) - School of Physics, The University of New South Wales, Sidney, 2007.

JÄRVELÄINEN, H. Perception-based control of *vibrato* parameters in string instrument synthesis. In: *Proc. International Computer Music Conference*, Sweden. 2002.

PARKER, A.; ROHRBACHER, P. J. Musical Instrument Strings and Method for Making The Same, 2002. Disponível em: <<http://www.google.com/patents/US6348646>>. Acesso em: 24 maio 2014.

LUKIN, A.; TODD, J. Adaptive time-frequency resolution for analysis and processing of audio. In: *Audio Engineering Society Convention 120*. Audio Engineering Society, 2006.

MADEIRA, B. O canto do violonista: dicas de David Russel, 2008. Disponível em <<http://violao.brunomadeira.com/index.php?s=carlevaro>>. Acesso em: 20 maio 2014.

MACIEL, A., ORSELLI, M. I. V., MACHADO, R. E.; GUIMARÃES-FILHO, Z. O. Cordas vibrantes no violão. In: XIV SNEF, 2 a 6 de julho de 2001, Natal-RN

MACLEOD, R. B. Influences of dynamic level and pitch register on the *vibrato* rates and widths of violin and viola players. *Journal of Research in Music Education*, v. 56, n. 1, p. 43-54, 2008.

MANKIEWICZ, R. *The story of mathematics*. London: Cassell, 2000.

MOELANS, D. *The timing of tremolo, trills and vibrato by string instrument players*. In: *Proceedings of ICMPC8*, 2004, p. 149-153. Disponível em: <<http://www.icmpc8.umn.edu/proceedings/ICMPC8/PDF/AUTHOR/MP040238.PDF>>. Acesso em: 20 abril 2014.

MOELANTS, D. Temporal aspects of instrumentalists' performance of tremolo, trills, and *vibrato*. In: *Proceedings of the International Symposium on Musical Acoustics (ISMA'04)*, 2004, p. 281-284.

NAVEDA, L. A. B. *O timbre e o volume sonoro do violão Uma abordagem acústica e psicoacústica*. 2002. Dissertação (Mestrado em Música) – Escola de Música, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2002.

NATIONAL OPEN STUDIO FOR DEVELOPMENT & RESEARCH IN ELECTRO-ACOUSTIC MEDIA. PVAN: Analyse a sound using the SNDAN *Phase Vocoder* method, [s. d.]. Disponível em: <<http://dream.cs.bath.ac.uk/software/sndan/pvan.html>>. Acesso em: 20 maio 2014.

RICHARDSON, B. E. The acoustical development of the guitar. *Journal of the Catgut Acoustical Society*, v. 2, n. 5 (series III), 1994.

ROSSING, T. D. (Org.). *Springer handbook of acoustics*. New York: Springer, 2007.

ROSSING, T. D. *The science of sound*. 2. Ed. New York: Addison-Wesley, 1990.

SADIE, S.; TYRRELL, J. *The New Grove Dictionary of Music and Musicians*. 2. ed. London: Macmillan, 2001. v. 10.

SHOONDERWALDT, E.; FRIBERG, A. *Towards a Rule-Based Model for Violin Vibrato: Workshop on Current Directions in Computer Music Research*. Barcelona: Audiovisual Institute; Pompeu Fabra University, 2001.

SILVA, J. E. C. *Tremor e vibrato humanos: medição de taxa, profundidade e regularidade no movimento de membros, na voz e no contrabaixo acústico*. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

SOTO, O. M.. *From musical analysis to musical expression*. Barcelona: Pompeu Fabra University, 2003.

SUNDBERG, J. Acoustic and psychoacoustic aspects of vocal *vibrato*. In: DEJONCKERE, P. H.; MINORU, H.; SUNDBERG, J. (Org.). *Vibrato*. San Diego: Singular Publishing Group, 1995. P. 35-62.

TANAKA, A. *Musical Performance Practice on Sensor-Based Instruments*. In: WANDERLEY, M. M.; BATTIER, M. *Trends in Gestural Control of Music*. Paris: Centre Pompidou, 2000.

TEMPELAARS, S. (Org.). *Signal processing, speech and music*. London: Routledge, 1996.

TIMMERS, R.; DESAIN, P. *Vibrato: Questions and answers from musicians and science*. In: *Proc. Int. Conf. on Music Perception and Cognition*, 2000.

TRAUBE, C.; SMITH, J. O. Estimating the plucking point on a guitar string. In: *Proceedings of the COST G-6 Conference on Digital Audio Effects*, Verona, Italy. 2000.

TURNBULL, H. *The guitar from the renaissance to the present day*. Westport: Bold Strummer Limited, 2001.

VIEIRA, M. N. Uma introdução à acústica da voz cantada. In: *I Seminário Música, Ciência e Tecnologia: Acústica Musical*. São Paulo, 2004.

VIGLIETTI, C. *Origen e historia de la guitarra*. Buenos Aires: Albatros, 1976.

WIDMER, G.; W. GOEBL. Computational Models of Expressive Music Performance: The State of the Art. *Journal of New Music Research*, v. 33, n. 3, p. 203-216, 2004.

WIDMER, G.; ZANON, P. Learning to recognize famous pianists with machine learning techniques. In: *Proceedings SMAC 03*. Stockholm, Sweden, p. 581-584, 2003.

WOLFF, D. O uso do *vibrato* no violão. Disponível em: <http://www.danielwolff.com.br/arquivos/File/Vibrato_Port.htm>. Acesso em: 20 maio 2014

PRAME, E. *Vibrato* extent and intonation in professional Western lyric singing. *Journal of the Acoustical Society of America*, v. 102, n. 1, p. 616-621, 1997.

Anexo A - Script do PRAAT

Erase all

#entra com valor midi (variavel x) da nota a ser analisada

x= 66

st=2^(1/12)

f0 = st^(x-69)*440

pitchfloor = f0*0.9

pitchceiling = f0*1.1

selecionar som no menu do praat

guarda nome do arquivo em questao

som = selected ("Sound")

#normaliza pela amplitude

Scale peak... 0.99

#calcula curva dinamica

To Intensity... pitchfloor 0 yes

amplitude = selected ("Intensity")

tempo = 0

max = Get maximum... 0 0 Parabolic

fdin = max - 26

pode-se variar na linha acima a faixa dinamica mais adequada

frames=Get number of frames

#printline 'frames'

for f from 1 to frames

din = Get value in frame... f

if din >= fdin

tempo = f

else

endif

endfor

tempo2 = Get time from frame number... 'tempo'

```
println duracao da analise 'tempo2' frames 'tempo'  
# tempo2 representa a duracao efetiva do trecho a ser analisado
```

```
select 'som'
```

```
To Spectrogram... 0.025 10000 0.0125 20 Gaussian
```

```
espectro= selected ("Spectrogram")
```

```
tempo3 = Get time step
```

```
quadros = Get number of frames
```

```
frame2= Get frame number from time... tempo2
```

```
frame2a = frame2 -1
```

```
Create simple Matrix... centroides 1 frame2a 0
```

```
centroides= selected ("Matrix")
```

```
select 'espectro'
```

```
for quadro from 1 to frame2a
```

```
janela = Get time from frame number... quadro
```

```
To Spectrum (slice)... janela
```

```
nome4= selected ("Spectrum")
```

```
centroid = Get centre of gravity... 2.0
```

```
#select Spectrum power
```

```
#plus Spectrum weighted
```

```
select 'nome4'
```

```
Remove
```

```
select Matrix centroides
```

```
Set value... 1 quadro centroid
```

```
select espectro
```

```
endfor
```

```
select 'amplitude'
```

```
Dashed line
```

Draw... 0 tempo2 0 0 yes

select 'centroides'

tempo4 = (tempo2/tempo3)

Dotted line

Draw rows... 0 tempo4 0 0 0 0

select 'som'

Filter (pass Hann band)... pitchfloor/2 pitchceiling*10 100

somfiltrado=selected("Sound")

To Pitch... 0 pitchfloor pitchceiling

Smooth... 20

alturas=selected ("Pitch")

Solid line

Draw... 0 tempo2 pitchfloor pitchceiling yes

#calcula espectro da curva de f0

#####

#verificar se o primeiro valor de f0 nao é nulo

n=Count voiced frames

To Matrix

matrizpref0 = selected("Matrix")

#nn = Get number of columns

#cria nova matriz sem zeros na curva

Create simple Matrix... f0 1 tempo 0

matrizf0= selected ("Matrix")

for i from 1 to tempo

select 'matrizpref0'

val= Get value in cell... 1 i

select 'matrizf0'

Set value... 1 i val

endfor

freqmin= Get minimum

freqmax = Get maximum

```

printline frequencia minima 'freqmin'
printline frequencia maxima 'freqmax'

# calcula media e subtrai de cada ponto
media = Get mean... 0 0 0 0
#print 'media'
Formula... self-media

#cria matriz com curva gaussiana
# janela gaussiana:  $\exp(-3*((x/0.5-0.5)/0.4)^2)$ 
# 0.5 debaixo de x indica duracao total
#0.4 indica largura da gaussiana
Create simple Matrix... gauss 1 n 0
envgauss = selected ("Matrix")

for i from 1 to n
y =  $\exp(-3*((i/n-0.5)/0.4)^2)$ 
Set value... 1 i y
endfor

select 'matrizf0'
plus 'envgauss'
Merge (append rows)
f0comjanela = selected ("Matrix")

Formula... if row=1 then self[1,col]*self[2,col] else self fi

Formula... if row=1 then self+media else self fi

#cria matriz para calculos com duas linhas, para coseno e seno
Create simple Matrix... predft 2 n 0

# combina as duas matrizes f0 com janela e predft
select 'f0comjanela'
plus Matrix predft
Merge (append rows)
grandmatriz = selected ("Matrix")

#cria a matriz de resultados
Create simple Matrix... dft 2 n 0
dftf0 = selected ("Matrix")

```

```

#corre todas as frequencias

for j from 1 to n

select grandematriz

# corre uma frequencia em coseno e seno

for i from 1 to n
theta = (2*pi*i*j)/n
x= cos(theta)
y = sin(theta)
Set value... 3 i x
Set value... 4 i y
endfor

#multiplica f0 por cos e seno
Formula... if row=3 then self [1, col]*self else self fi
Formula... if row=4 then self[1,col]*self else self fi

#calcula soma total das linhas 3 e 4

Formula... if row=3 then self [col -1] + self else self fi
Formula... if row=4 then self [col -1] + self else self fi

# calcula a soma e divide pelo total de pontos
valorre = Get value in cell... 3 n
valorre2 = valorre/n
valorim = Get value in cell... 4 n
valorim2 = valorim/n

#armazena valor na matriz resultado
select dfft0
Set value... 1 j valorre2
Set value... 2 j valorim2

endfor

#calcula espectro de amplitudes

```

Formula... if row=1 then (self[1,col]^2+self[2,col]^2)^0.5 else 0 fi

Formula... if row=1 then self*2 else 0 fi

Dashed-dotted line

Draw rows... 0 100 0.5 1.5 0 0.7

freqmeda= Get maximum

freqmed = freqmeda/2

printline frequencia media 'freqmed'

select 'alturas'

ttotal= Get time from frame number... n

freqbase = 1/ttotal

printline frequencia base da dft 'freqbase'