



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE INFORMÁTICA  
POS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

DESCOBERTA AUTOMÁTICA DE  
CONHECIMENTO EM  
INTERPRETAÇÕES MUSICAIS:  
MICROANDAMENTO e MICRODINÂMICA

Fúlvio Figueirôa Silvestre

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

RECIFE, AGOSTO/2009



Pós-Graduação em Ciência da Computação

**“Descoberta Automática de Conhecimento em  
Interpretações Musicais:  
Microandamento e Microdinâmica”**

**Por**

***Fúlvio Figueirôa Silvestre***

**Dissertação de Mestrado**

**ESTE TRABALHO FOI APRESENTADO À PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA  
COMPUTAÇÃO DO CENTRO DE INFORMÁTICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE  
PERNAMBUCO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE  
MESTRE EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO.**

ORIENTADOR: Prof. GEBER LISBOA RAMALHO



Universidade Federal de Pernambuco  
posgraduacao@cin.ufpe.br  
www.cin.ufpe.br/~posgraduacao

RECIFE, AGOSTO/200

**Silvestre, Fúlvio Figueirôa**

**Descoberta automática de conhecimento em interpretações musicais: microandamento e microdinâmica / Fúlvio Figueirôa Silvestre. - Recife: O Autor, 2009.**

**x, 59 folhas : il., fig., tab.**

**Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. Cln. Ciência da Computação, 2009.**

**Inclui bibliografia.**

**1. Ciência da computação – Inteligência artificial. 2. Computação musical – Microdinâmica e microandamento. 3. Violão – Bossa nova. I. Título.**

**006.3**

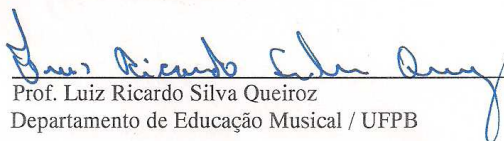
**CDD (22. ed.)**

**MEI2010 - 010**

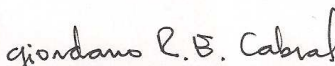
Dissertação de Mestrado apresentada por **Fúlvio Figueirôa Silvestre** Pós-Graduação em Ciência da Computação do Centro de Informática da Universidade Federal de Pernambuco, sob o título "**Descoberta Automática de Conhecimento em Interpretações Musicais: Microandamento e Microdinâmica**", orientada pelo **Prof. Geber Lisboa Ramalho** e aprovada pela Banca Examinadora formada pelos professores:



Prof. Geber Lisboa Ramalho  
Centro de Informática / UFPE



Prof. Luiz Ricardo Silva Queiroz  
Departamento de Educação Musical / UFPB



Prof. Giordano Ribeiro Eulálio Cabral  
Daccord Music Software

Visto e permitida a impressão.  
Recife, 31 de agosto de 2009.



**Prof. Nelson Souto Rosa**  
Vice-Coordenador da Pós-Graduação em Ciência da Computação do  
Centro de Informática da Universidade Federal de Pernambuco.

## Agradecimentos

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, que sempre tem me guiado a fazer as escolhas corretas ao longo da vida.

Agradeço também a minha família: minha mãe que sempre buscou me orientar da melhor maneira, meu pai que me ajudou à sua maneira, meu Tio François pelo apoio nos primeiros anos longe de casa, minha irmã Fernanda pela ajuda ao longo do mestrado e principalmente a minha esposa Lucineide pelo companheirismo e minha filha Daniela pelos vários momentos de descontração ao longo deste período.

A Geber, agradeço pela oportunidade e pelas agradáveis conversas que tivemos ao longo desse período.

Ao Sr. João Cabral, pelos meus primeiros ensinamentos na área musical.

Um agradecimento especial ao pessoal da Motorola: Virginia, Luiz Claudio e Luiz Coutinho que acreditaram e me proporcionaram a possibilidade dessa conquista.

Por fim agradeço todas as pessoas que trabalharam comigo ao longo deste período em especial: Ernesto, Márcio, Ricardo e Raphael. Valeu galera!

*As circunstâncias entre as quais você vive determinam sua reputação.*

*A verdade em que você acredita determina seu caráter.*

*A reputação é o que acham que você é.*

*O caráter é o que você realmente é.*

*A reputação é o que você tem quando chega a uma comunidade nova.*

*O caráter é o que você tem quando vai embora.*

*A reputação é feita em um momento.*

*O caráter é construído em uma vida inteira.*

*A reputação torna você rico ou pobre.*

*O caráter torna você feliz ou infeliz.*

*A reputação é o que os homens dizem de você junto à sua sepultura.*

*O caráter é o que os anjos dizem de você diante de Deus.*

*William Hersey Davis*

## Resumo

A execução de uma canção da forma exata como ela está escrita na partitura soa normalmente mecânico e artificial aos ouvidos de um músico com um mínimo de experiência. Dentre as modificações feitas pelo músico ao interpretar uma partitura, classificadas como expressividade musical, encontram-se: (a) o *microandamento*, micro variações de andamento e (b) a *microdinâmica* pequenas variações na intensidade das notas.

Diante da dificuldade de se medir apenas com o ouvido humano estas pequenas variações e também de se analisar um grande corpus musical manualmente, as pesquisas na área de expressividade musical podem se beneficiar grandemente do uso da computação. Infelizmente, a grande maioria dos trabalhos de análise de expressividade musical utilizando o computador se restringe à música clássica e ao repertório de piano.

O Centro de Informática da UFPE vem desenvolvendo um projeto pioneiro chamado "Um país um violão", que tem como principal objetivo estudar a expressividade do violão brasileiro, que é um dos ícones da cultura nacional. Assim, o objetivo deste trabalho é fazer um estudo sobre microandamento (MA) e microdinâmica (MD) no violão brasileiro de bossa nova.

O trabalho tenta, com ajuda de uma análise computacional, responder a perguntas como: há padrões nas variações de MA e MD no violão de bossa nova? Qual é a melhor janela de análise para identificá-los? Os padrões de variação de MT são influenciados pelo andamento da música? Quão similares são as variações de MT e MA entre diferentes intérpretes? Há uma relação entre os padrões rítmicos de acompanhamento e as variações de MT e MA?

Com o auxílio da ferramenta desenvolvida, são mostrados elementos de respostas às perguntas acima, caracterizando contribuições tanto no âmbito da música quanto da musicologia assistida por computador.

**Palavras-chaves:** Computação Musical, expressividade musical, microandamento, microdinâmica.

## Abstract

The performance of a song in the exactly way it is written on the score tends to sound mechanical and artificial to any musician with a minimum experience. Among the variations made by a musician when interpreting a score, classified as musical expressivity, are: a) microtiming, micro time variations; b) microdynamics, small variations of the notes intensity.

Due to difficulty to measure small variations using only the human ear and also to manually examine a large musical corpus, the research regarding music expressivity can take great advantage of computer science. Unfortunately, the majority of studies in music expressivity analyses using the computer is restrict to classic music and the piano pieces.

The Informatics Center of UFPE has been developing a pioneering project called "One country one guitar" which has as main goal to study the expressiveness of Brazilian guitar, one of the icons of national culture. Therefore, the scope of this work is to investigate microtiming and microdynamics in Bossa Nova Brazilian guitar.

The study attempt, through computational analyses, answer questions as: are there microtiming and microdynamics patterns variations, in Bossa nova guitar? What is the best analyses window to identify them? Are the microtiming and microdynamics patterns influenced by musical time? How similar are the patterns when played by different musicians? Are there a relationship between the rhythmic patterns and microtiming and microdynamics patterns?

Using the developed system, it will be shown some results that answer these questions, featuring contributions in both music and computer-assisted musicology domains.

**Keywords:** Music Computer, Expressive Music Performance, Microtiming, Microdynamics.



## Sumário

1	Introdução .....	1
2	Expressividade Musical.....	7
2.1	Perspectiva Histórica .....	7
2.2	Intenções do Intérprete e Percepções do Ouvinte .....	9
2.3	Microdinâmica.....	11
2.4	Microandamento .....	12
2.5	Conclusões .....	15
3	Método .....	17
3.1	Objetos e objetivos.....	17
3.2	Hipóteses .....	18
3.3	Etapas .....	19
4	Corpus analisado.....	21
4.1	Formato dos dados.....	21
4.2	Características dos dados .....	22
4.3	Identificação dos padrões rítmicos.....	24
4.4	Extração dos padrões rítmicos .....	32
4.5	Janelas de análise .....	32
4.6	Formas de análise .....	34
5	Implementação .....	37
5.1	Organização do trabalho .....	37
5.2	API Java sound MIDI .....	38
5.3	API Rittornelo .....	38
5.4	API Scholz.....	39
5.5	Arquitetura.....	40
5.6	Ferramenta de análise .....	41
6	Experimentos e resultados .....	43
6.1	Análise dos padrões.....	44
6.2	Escolha da janela de análise .....	45
6.3	Análise intérprete 1 x intérprete 2 .....	47
6.4	Análise dos padrões rítmicos.....	48
6.5	Ocorrências do mesmo padrão rítmico .....	49
6.6	Padrões rítmicos x frase .....	51
6.7	Microandamento x Andamento (BPM) .....	52
7	Conclusão e trabalhos futuros .....	54
	Referências Bibliográficas .....	56

## Lista de Figuras

- Figura 3.1 – Cífra desafinado
- Figura 4.1 – Canais MIDI
- Figura 4.2 – Início da canção Barquinho na notação de Ernesto
- Figura 4.3 – Formato dos padrões de Ernesto
- Figura 4.4 – Padrões ordenados
- Figura 4.5 – Padrão identificado na gravação midi
- Figura 4.6 – Problemas 1, 4, 6
- Figura 4.7 – Problema 2
- Figura 4.8 – Problema 3
- Figura 4.9 – Problema 5
- Figura 4.10 – Problema 7
- Figura 4.11 – Comparação da identificação dos padrões (Manual x Automático)
- Figura 4.12 – Primeiro padrão de Barquinho
- Figura 4.13 – Janela de unidade de tempo
- Figura 4.14 – Janela de compasso
- Figura 4.15 – Janela de frase
- Figura 4.16 – Divisão binária
- Figura 4.17 – Exemplo da segmentação de dois tempos de Barquinho
- Figura 5.1 – Interface do framework
- Figura 6.1 – Média microandamento intérprete 1 (milissegundos)
- Figura 6.2 – Média microandamento intérprete 2 (milissegundos)
- Figura 6.3 – Média microdinâmica intérprete 1 ( milissegundos )
- Figura 6.4 – Média microdinâmica intérprete 2 ( milissegundos )
- Figura 6.5 – Microandamento na Frase intérprete 1 (milissegundos)
- Figura 6.6 – Microandamento na Frase intérprete 2 (milissegundos)
- Figura 6.7 – Microdinâmica na Frase intérprete 1 (milissegundos)
- Figura 6.8 – Microdinâmica na Frase intérprete 2 (milissegundos)
- Figura 6.9 – Microdinâmica na Frase – Intérprete 1 x Interpretre 2
- Figura 6.10 – Microandamento na Frase – Intérprete 1 x Interpretre 2
- Figura 6.11 – Padrão rítmico de microdinâmica nas canções: A Felicidade, Desafinado, Tarde em Itapuã
- Figura 6.12 – Padrão rítmico de microdinâmica nas canções: A Felicidade, Desafinado, Samba de Uma Nota Só, Tarde em Itapuã
- Figura 6.13 – Padrão rítmico de microandamento nas canções: A Felicidade, Desafinado, Tarde em Itapuã

Figura 6.14 – Padrão Microandamento nas canções (A Felicidade, Desafinado, Samba de Uma Nota Só, Tarde em Itapuã)

Figura 6.15 – Microdinâmica - Padrão P1, P2, P3 x Frase

Figura 6.16 – Microandamento - Padrão P1, P2, P3 x Frase

Figura 6.17 – Microandamento x Andamento (Intérprete 1)

Figura 6.18 – Microandamento x Andamento (Intérprete 2)

## Lista de Tabelas

Tabela 4.1 – Gravações.

Tabela 6.1 – Ocorrências dos padrões analisados.

## 1 Introdução

Diferentemente do que a maioria do público leigo possa imaginar, uma canção não é executada precisamente como está escrita na sua representação gráfica, caso contrário a canção tornar-se-ia algo mecânico e artificial [TRAJANO, 2007]. Diante disso, pode-se imaginar que existem diferentes formas do músico se “expressar” durante uma execução. Há inúmeros fatores que influenciam essa forma de se expressar, alguns são fatores não intencionais, por exemplo, fatores psicológicos (concentração, motivação etc.), executar uma canção para várias pessoas ou executar a canção num ensaio em casa, fatores técnicos: um músico que toca um instrumento de sopro, por exemplo, um saxofone, e fica algum tempo sem tocar o instrumento, ao voltar, não irá conseguir obter a mesma sonoridade. Outro fator técnico não intencional é a precisão rítmica, onde um humano não é tão preciso como uma máquina e essa não precisão na maioria das vezes é o que dá o swing característico do músico. Por fim, outros fatores são intencionais, característicos do próprio músico, alguns dos quais serão discutidos mais adiante.

Pode-se constatar claramente um exemplo de expressividade em instruções de dinâmica existentes numa partitura, por exemplo: *piano*, *fortíssimo*, *crescendo*, *diminuendo*. No entanto, essas características são bastante imprecisas e subjetivas do ponto de vista de quem está executando, afinal, uma execução *fortíssimo* irá dizer ao intérprete que o mesmo precisa tocar forte, mas a intensidade continuará dependendo do executor, o que torna a medição dessa característica bastante subjetiva.

Existem também outras formas de expressividade, como as micro-variações de duração de uma nota e as micro-variações no tempo de ataque das notas, que fazem com que as mesmas sejam executadas com um leve atraso ou adiantamento dando ao ouvinte, junto com as micro-variações de intensidade, entre outras características, a percepção do que se chama de “swing”, “balanço” ou “molho” de cada intérprete.

A expressividade contida numa interpretação pode ser percebida com clareza mesmo por ouvintes não músicos, fazendo com que uma execução de ótima qualidade técnica, mas sem muita expressividade torne-se fadada ao esquecimento, diante de uma interpretação expressiva mesmo que esta venha a possuir erros ou imprecisões. Diante deste fato, um grande número de pesquisadores passou a querer encontrar padrões nesses “erros ou imperfeições” [FREEMAN, LACEY, 2002], [FRIBERG, SUNDSTRÖM, 2002], [JUSLIN, 1997] com o objetivo de identificar diferenças entre intérpretes e também contribuir para uma melhoria no ensino da música, surgindo assim à pesquisa em expressividade musical.

Nos últimos anos, têm-se estudado, com o auxílio do computador, como um intérprete (músico) executa de forma expressiva uma determinada peça ou canção [ZANON, WIDMER, 2003], [GOEBL, PAMPALK, WIDMER, 2004], [WIDMER, 2001]. Sabe-se que a interpretação expressiva da música traduz-se, entre outras, em pequenos desvios de tempo e dinâmica que não estão explicitamente anotados em uma partitura, grade de acordes, tablatura, etc. Costuma-se dar o nome de microtiming [GOUYON, 2007], [WRIGHT, BERDAHL, 2006] (chamado microandamento) aos desvios no tempo, em que as notas são tocadas alguns milissegundos antes ou depois do previsto no andamento normal. Além deste fenômeno, também será estudada microdinâmica, a saber, os desvios não explicitamente anotados que ocorrem nas intensidades das notas tocadas.

Embora esses desvios ocorram na maioria das vezes de acordo com o conhecimento do intérprete, é bastante difícil capturar esse conhecimento interpretativo via verbalização, em um processo clássico de aquisição de conhecimento. A descoberta desse conhecimento é importante por duas razões básicas: (a) a explicitação das "regras" de interpretação permite uma melhor conscientização dos músicos decifrar interpretações de destaque, em particular nos estilos musicais em que a tradição oral prevalece, onde há pouca notação, como é o caso das grades de acordes ou assemelhados encontrados nos livros da música popular brasileira [SANDRONI, 2001]; (b) tais "regras" podem ser utilizadas para que um computador seja capaz de interpretar uma peça ou canção com expressividade similar à de um músico humano.

Nesse contexto, o computador torna-se um instrumento indispensável para analisar esse tipo de fenômeno. De fato, o computador pode identificar desvios dificilmente mensuráveis pelo ouvido humano e realizar uma análise mais detalhada e de uma maior quantidade de dados com uma objetividade que as pessoas na maioria das vezes não conseguem atingir.

Conforme já foi citado, existe uma área de estudos que cuida justamente dessas características, chamada expressividade musical. Essa área vem sendo estudada por várias disciplinas como, por exemplo: a psicologia e a computação musical. Na psicologia esse estudo se dá por meio de percepções do ouvinte (o momento social que ele está passando, a percepção musical que o mesmo possui entre outros fatores) e intenções do intérprete (quer impressionar o ouvinte, está tocando apenas como uma obrigação etc.) [SUNDBERG, FRIBERG, FRYDEN, 1991a], [PALMER, 1997]. Já na computação musical isso ocorre por intermédio da análise minuciosa de canções (feitas por computador), detectando características que muitas vezes o intérprete sabe que elas existem, mas não consegue explicá-las

didaticamente [FRIBERG, SCHOONDERWALDT, JUSLIN, BRESIN], [WIDMER, DIXON, GOEBL, PAMPALK, TOBUDIC, 2003], [WIDMER, 2001].

Portanto, a importância do estudo da expressividade deve-se aos seguintes fatores: entender melhor a contribuição de cada intérprete ou de uma região num dado estilo musical (contribuição na musicologia), possibilitar novas alternativas de ensino nas escolas de música (contribuição na educação), construir programas capazes de interpretar “tão bem” quanto os humanos. Esses programas podem ser softwares educativos, sistemas de acompanhamento automático entre outros (contribuição na indústria da computação musical).

Com relação à computação musical, foco de estudo desse trabalho, existem pouquíssimas pesquisas sobre expressividade fora do domínio da música clássica para piano. Pouco ou quase nada existe em música popular brasileira, o que pode representar desafios ainda maiores já que ela é muitas vezes de tradição oral com pouco suporte escrito no formato de partitura [GOUYON, 2007], [WRIGHT, BERDAHL, 2006] e nada existe no caso do violão popular brasileiro.

O Centro de Informática da UFPE possui um projeto inédito chamado “Um país um violão”. Esse projeto teve início em meados do ano 2000 sob a coordenação do professor Geber Ramalho e realiza estudos de expressividade musical no âmbito da música popular brasileira, em especial no violão, que é um de seus grandes ícones, com estudos iniciais focados na bossa nova.

O projeto possui uma base de dados de canções de bossa nova de João Gilberto gravadas por alguns intérpretes locais e armazenadas no formato de áudio e também no formato MIDI. Nessas canções são realizados diversos tipos de estudo, por exemplo: encontrar padrões rítmicos [TRAJANO, 2007], descobrir automaticamente o próximo acorde que virá numa sequência [SCHOLZ, 2008], detectar o exato momento que um acorde é tocado [SCHOLZ, 2008] entre outros que foram desenvolvidos, ou que estão em processo de desenvolvimento.

Esta dissertação tem como objetivo estudar no âmbito do violão popular e mais especificamente da bossa nova duas subáreas da expressividade musical: *Microandamento* (do inglês *Microtiming* [GOUYON, 2007], [WRIGHT, BERDAHL, 2006]) e *Microdinâmica* (do inglês *Microdynamics*).

Como já foi dito, expressividade é uma dos aspectos mais importantes na execução de uma canção. Características como altura, duração, variação no tempo, intensidade e timbre não fazem parte apenas da estrutura musical, mas demonstram também a intenção do intérprete [FRIBERG, SCHOONDERWALDT, JUSLIN, BRESIN], bem como, a forma subjetiva e pessoal de como cada músico executa uma partitura.

Microandamento como o próprio nome sugere, corresponde a pequenas, porém significativas, variações no andamento ou tempo exato em que uma nota deveria ser executada sem, contudo, modificar a correta execução da canção, apenas acrescentando-lhe um swing típico do intérprete.

Já microdinâmica corresponde também a pequenas variações, entretanto, as variações aqui citadas dizem respeito à intensidade com que uma nota ou acorde deverá ser executado. Microdinâmica está num nível de detalhes bem maior que as características de intensidade escritas numa partitura, como: forte, médio, piano etc.

Esta pesquisa, portanto, contribui para o processo de descoberta de conhecimento musical por parte dos sistemas computacionais com o objetivo de construir máquinas que possam “entender” e “produzir” performances musicais baseadas nas variações de expressividade humana[ZANON, WIDMER, 2003], [GOEBL, PAMPALK, WIDMER, 2004], [WIDMER, 2001], bem como, no âmbito da musicologia conforme já foi citado anteriormente. Sendo assim, o corrente estudo visa preencher um vazio na parte de expressividade existente no projeto “Um país um violão” e adicionar mais um componente no framework de extração das características musicais da bossa nova. Esse componente consiste na identificação de padrões de microandamento e microdinâmica.

Grande parte das pesquisas sobre expressividade concentra-se no estudo da unidade de tempo (semínima), no entanto, além dessa análise, foi realizada a análise por compasso, por frase da bossa nova e também a análise nos padrões rítmicos, com o intuito de capturar a dimensão estrutural da música [TRAJANO, 2007]. Mais detalhes a respeito de como essas pulsações foram identificadas, como a canção foi segmentada, e como os padrões foram encontrados serão vistos ao longo dos capítulos subsequentes. Este texto foi então dividido como segue.

O capítulo 2 descreve o estado da arte em expressividade musical, onde é feita uma breve explanação sobre o que é a expressividade musical e sua importância no âmbito da música. Entretanto, os maiores detalhes serão concentrados nas pesquisas sobre microandamento e microdinâmica, desde os primeiros estudos no final do século XIX, feitos sem o uso de grandes tecnologias e muitas vezes com instrumentos arcaicos até os dias atuais, onde o auxílio de poderosos computadores e a troca de informações via internet conduz a resultados cada vez melhores e mais surpreendentes. Outro fator que será estudado ao longo deste capítulo é o aspecto psicológico tanto do intérprete quando do ouvinte por intermédio das intenções do primeiro e percepções do segundo.

No capítulo 3, será abordado o método de desenvolvimento deste trabalho, bem como os objetos e objetivos de estudo. Nesse capítulo também serão



levantadas as questões que se espera responder sobre musicologia, bem como, as etapas percorridas, por meio das quais se chegou aos resultados apresentados.

Já no [capítulo 4](#) será analisado o corpus de dados: o formato de armazenamento dos mesmos (midi, áudio), o porquê da escolha do MIDI, as características presentes no corpus, por exemplo, ausência de metrônomo e presença de beat tracking. Também será abordado como foram identificados os padrões rítmicos nos arquivos midi e de que maneira esses padrões foram extraídos das canções originais. E, por último, será demonstrada a forma de análise dos dados.

A parte da implementação propriamente dita será explicada ao longo do [capítulo 5](#). Em princípio será evidenciada a forma de organização do projeto: ambiente de desenvolvimento escolhido, arquiteturas selecionadas, frameworks e API's utilizadas. Em seguida, serão detalhados os componentes utilizados na construção do sistema. Por fim, será mostrada a ferramenta de análise que permitiu a realização dos experimentos desta pesquisa.

O [capítulo 6](#) ficou reservado para explicar como foram feitos os experimentos, bem como, demonstrar os resultados obtidos. Na primeira seção foi realizada uma análise dos padrões de microandamento e microdinâmica encontrados. Na seção seguinte, definiu-se qual seria a melhor janela de tempo a ser analisada: unidade de tempo, compasso ou frase. Em seguida, foram comparados os resultados encontrados nas análises dos dois intérpretes estudados. Após esses primeiros resultados, resolveu-se também analisar o comportamento dos padrões de microdinâmica e microandamento nos padrões rítmicos existentes, bem como, realizar a mesma análise em um mesmo padrão rítmico que ocorreu em músicas distintas. Outro estudo comparativo diz respeito aos padrões rítmicos versus a frase de bossa, analisando as semelhanças e diferenças entre ambos. Na última seção, foi observada a influência do andamento nos padrões de microandamento e microdinâmica.

Por fim, o [capítulo 7](#) ficou reservado para a conclusão dos resultados obtidos nos experimentos. Nesse capítulo, serão respondidas questões como: existem padrões de microdinâmica e microandamento? A frase de bossa nova influencia outras janelas de tempo? Os padrões de microdinâmica e microandamentos são influenciados pelo andamento da canção? Quão similares são os padrões de microandamento e microdinâmica quando tocados por diferentes intérpretes? Enfim, serão respondidas as hipóteses levantadas no [capítulo 3](#). Também serão abordados os trabalhos futuros que podem ser feitos para incrementar o framework principal do projeto, tornando-o cada vez mais robusto e eficiente. Nesse capítulo

serão mostradas estas lacunas, e a importância das mesmas serem desenvolvidas no futuro.

## 2 Expressividade Musical

Neste capítulo será apresentado o estado da arte das pesquisas em expressividade musical, focando a parte de microandamento e microdinâmica e seus principais estudos no âmbito da psicologia e da computação musical.

### 2.1 Perspectiva Histórica

Desde a Grécia antiga, o poder da música em expressar sentimentos é reconhecido, porém, não se sabe ao certo como a música consegue provocar emoções [GABRIELSSON, 1999], [SEASHORE, 1938], [GABRIELSSON, JUSLIN, 1996]. No meio musical, muitas vezes é bastante difundida a idéia de que o sentimento ao ouvir uma canção está relacionado ao sistema composicional. Nos séculos XVI, XVII e XVIII, determinados recursos musicais como intervalos e ritmos, por exemplo, estavam associados a estados emocionais específicos criando assim um conceito teórico conhecido como: “a doutrina dos afetos” [HIGUCHI, LEITE, 2006]. É inegável a importância da estrutura composicional no despertar das emoções ao ouvir uma peça ou canção, entretanto, parte dos profissionais da área musical defendem a idéia de que a forma como uma música é executada exerce enorme influência nessas emoções [HIGUCHI, LEITE, 2006].

Portanto, expressividade musical é a liberdade que o músico possui de interpretar uma partitura, ou qualquer outra notação musical, fazendo escolhas pessoais sobre harmonia, ritmo e acentuação rítmica, de acordo com sua interpretação da peça ou canção [PALMER, 1997]. Numa canção, características como: altura, duração, variação no tempo, intensidade e timbre não fazem parte apenas da estrutura musical, mas, demonstram também a intenção do intérprete e a forma subjetiva e pessoal de como cada músico executa uma partitura. O estudo da expressividade musical é de extrema importância para uma melhor análise dessas características. Esse estudo tem levado diversos pesquisadores tanto no âmbito da computação musical como da psicologia a descobrirem fatos relevantes que podem ser utilizados para aprimorar, por exemplo, o ensino musical. Com o advento dos computadores foi possível realizar uma análise um tanto minuciosa, feita por meio de inúmeras pesquisas nesse tema e com resultados bastante interessantes. Esta dissertação aborda duas importantes características da expressividade musical: microandamento e microdinâmica no âmbito do violão de Bossa Nova, tratando-se, portanto, de um estudo inédito no instrumento e estilo citados.

Os principais trabalhos sobre estas características dizem respeito principalmente a música clássica e são essas pesquisas que serão vistas ao longo

deste capítulo, desde as análises feitas no final do século XIX, até as descobertas realizadas nos dias atuais.

Embora os primeiros estudos tivessem início no final do século XIX [BINET, COURTIER, 1895], somente a partir do século XX com o surgimento de inovações tecnológicas - em especial a computação científica - conseguiu-se uma análise mais precisa e de um conjunto maior de dados, fazendo com que as pesquisas em expressividade musical produzissem melhores e mais confiáveis resultados.

Diante desses primeiros estudos já foram constatadas importantes variações, não apenas no que diz respeito ao comportamento do instrumentista perante a obra que executa, mas também, frente aos mecanismos de percepção envolvidos na escuta. É demonstrado por intermédio de um grande número de pesquisas [PALMER, 1997], [GABRIELSSON, 1987], [SEASHORE, 1938], [GABRIELSSON, JUSLIN, 1996] que o intérprete tem como principal objetivo ao executar uma partitura transmitir ao ouvinte sua percepção daquela canção por meio de pequenas variações de intensidade, durações, articulações, alturas e timbres.

Alguns importantes estudos sobre expressividade comprovam o que foi exposto anteriormente: Sundberg buscou identificar parâmetros acústicos envolvidos em uma performance musical com a finalidade de quantificar as pequenas e grande variações de tempo, dinâmica, timbre e afinação [SUNDBERG, FRIBERG, FRYDEN, 1991a]. Essas variações formam a microestrutura de uma performance e diferenciam performances distintas da mesma partitura [PALMER, 1997]. Uma vez quantificadas essas variações, o passo seguinte seria entender onde reside o impacto emocional de uma execução e como este impacto é conduzido.

O Royal Institute of Technology (KTH) de Estocolmo vem desenvolvendo há cerca de 20 anos um sistema de regras quantitativas para estudar a expressividade musical. A partir dos parâmetros: tempo, intensidade, afinação e vibrato e de valores teóricos de proporções como: durações ou intensidades de notas sucessivas estabeleceram-se regras entre as determinações dos valores desses parâmetros em relação aos valores nominais da partitura [SUNDBERG, FRIBERG, FRYDEN, 1991a].

Outro importante grupo de pesquisa é o Instituto de Pesquisa Österreichisches Forschungsinstitut für Artificial Intelligence - ÖFAI de Viena, liderado por Gehard Widmer, que desenvolveu um modelo baseado em técnicas de machine learning e data mining, para o reconhecimento automático de padrões de parâmetros descritores de expressividade musical em um grande volume de dados. O modelo reconheceu execuções dos artistas: Rubinstein, Maria João Pires, Horowitz e Maurizio Pollini [WIDMER, DIXON, GOEBL, PAMPALK, TOBUDIC, 2003],

[ZANON, WIDMER, 2003], [GOEBL, PAMPALK, WIDMER, 2004]. O modelo proposto mostrou-se bastante eficaz na descrição e quantificação de uma performance de forma objetiva, tanto de músicos profissionais como estudantes.

O que objetivam não apenas esses grupos de pesquisas, mas todas as pessoas que estudam musicologia, e em particular expressividade musical, é responder as seguintes questões: existem princípios explicáveis e quantificáveis que governam a expressividade de uma performance? Em que medidas e até que ponto são aceitáveis variações na performance de uma canção sem constituir erros ou imprecisões? Quais são os princípios cognitivos que governam a execução (no intérprete) e a percepção (no ouvinte) na expressividade musical? E por fim como isso é feito e com qual experiência musical? [WIDMER, 2001]. Esta pesquisa, tenta buscar respostas para as duas primeiras questões, particularmente tratando o estilo bossa nova nas dimensões de tempo e dinâmica.

## 2.2 Intenções do Intérprete e Percepções do Ouvinte

A música tem a capacidade de causar várias reações nos estados físicos. Blood encontrou alterações nos batimentos cardíacos e na frequência respiratória durante as audições de canções conhecidas que causavam fortes comoções mentais e emocionais [BLOOD, ZATTORE, BERMUDEZ, EVANS, 1999]. Estudos na área de neurociência, utilizando ressonância magnética funcional e tomografia computadorizada por emissão de pósitron, colheram evidências de que uma canção realmente tem capacidade de provocar fortes emoções. Alguns estudos comprovaram ativações das áreas cerebrais responsáveis pela emoção, recompensa e prazer durante as audições musicais [BLOOD, ZATTORE, BERMUDEZ, EVANS, 1999].

A expressividade musical não escrita na partitura varia de acordo com o instrumento utilizado, com a obra executada, com a intenção do intérprete, com as percepções do ouvinte, entre outros fatores. Cada uma dessas variações são objetos individuais de estudo de expressividade musical. Serão analisados alguns estudos sobre a parte psicológica da expressividade musical, que consiste nas associações existentes entre as intenções do intérprete e as percepções do ouvinte.

Pesquisas na área da psicologia cognitiva musical alimentam a teoria de que a expressividade é resultado de grandes e pequenas alterações na intensidade, na dinâmica, no timbre, nas articulações entre outros aspectos da interpretação musical [GABRIELSSON, JUSLIN, 1996] e que tanto leigos quanto músicos profissionais conseguem identificar a emoção transmitida via audição [JUSLIN, 1997]. De acordo com Juslin [JUSLIN, 2005], o elemento que o ouvinte mais

relaciona com a expressão emocional são as modificações no tempo, confirmando a visão empírica de que as modificações no tempo estão vinculadas a expressividade.

Clarke [CLARKE, 1993] e Gabrielsson [GABRIELSSON, 1999] realizaram estudos buscando introduzir parâmetros nas intenções expressivas individuais de diferentes intérpretes verificando se as intenções inseridas por cada intérprete são percebidas a partir da mesma codificação.

Com relação à percepção do ouvinte, uma metodologia que verificasse as intenções do intérprete extraídas a partir do som, garantindo que as relações psicofísicas entre o intérprete e o ouvinte são fundamentais para a compreensão das microestruturas da expressividade musical foi o resultado do estudo feito por Seashore [SEASHORE, 1938].

Esse foi o início dos estudos nessa linha onde é citado: Sloboda [SLOBODA, 1984], que detectou uma correlação entre as intenções do intérprete e as percepções dos ouvintes. Após dois anos, os estudos de Sloboda foram confirmados quando Senju e Ohgushi [SENJU, OHGUSHI, 1987] analisaram 10 peças de violino executadas de diferentes modos e confirmaram a percepção observada por Sloboda, onde existem correlações entre intenções e percepções. Sloboda criou nomes subjetivos para as nuances: profundo, elegante, simples, fraco, triste, poderoso, brilhante, sofisticado, como um sonho e belo.

A capacidade dos ouvintes de identificar claramente determinadas performances como possuindo ou não expressividade e de reconhecer determinadas intenções expressivas, levou Repp [REPP, 1992] a acreditar na existência dos seguintes princípios objetivos para determinar se uma performance é ou não expressiva: a) repetidas execuções da mesma canção/peça geralmente tem alta similaridade nos padrões de dinâmica; b) assim como no tempo, a dinâmica parece refletir uma estrutura hierárquica na canção/peça com padrões de crescendo-diminuendo dentro das frases; c) a existência de uma conexão de tempo e dinâmica é mais evidente na frase final; d) a mudança de intensidade da batida durante um crescendo-diminuendo pode ser associada a função linear da medida de tempo; e) a intensidade da batida pode aumentar com a nota.

Outro estudo importante foi realizado por Gabrielsson e Juslin [GABRIELSSON, JUSLIN, 1996] que tiveram resultados semelhantes a Senju e Ohgushi [SENJU, OHGUSHI, 1987], detectando intenções expressivas e parâmetros acústicos de diferentes performances de nove músicos profissionais instruídos a tocar em diferentes nuances: suave, alegre, triste, amedrontado, raivoso, inexpressivo e solene.

Parâmetros acústicos determinantes de diferenciações específicas entre execuções, além da confirmação da correlação entre os dados relacionados às

intenções do intérprete e a percepção dos ouvintes foram estudados por Canazza e De Poli [CANAZZA, DE POLI, VIDOLIN, 1997] a partir da execução de sete performances distintas nas nuances: duro, mole, pesado, leve, brilhante e escuro, do Concerto em La Maior para clarineta e orquestra de Mozart.

Músicos podem repetir seus padrões de expressividade relativos a microandamento e microdinâmica para uma dada peça musical com alta precisão [GABRIELSSON, 1987a], [HENDERSON, 1936], [SEASHORE, 1938], [SHAFFER, TODD, 1987]. Tentativas de tocar sem expressividades significantes atenuam esses padrões, mas não os remove totalmente [PALMER, 1989], [BENGTTSSON, GABRIELSSON, 1983], [SEASHORE, 1938], o que sugere que essas variações são intencionais.

### 2.3 Microdinâmica

Os estudos desse segmento da expressividade musical tiveram início no final do século XIX [BINET, COURTIER, 1895] e vêm se tornando cada vez mais importantes para musicologia ao longo dos últimos anos e principalmente com a evolução das ferramentas tecnológicas, em particular o computador, que possibilitou uma melhoria significativa nos resultados das análises desse tema.

Dinâmica na área musical pode referir-se a duas coisas: ao aspecto na execução de uma peça – *stacatto*, *legatto* etc. e a intensidade do volume de um conjunto de notas, ou mais raramente, uma única nota, executados. Exemplos de notação de dinâmica são os crescendos e diminuendos. Já microdinâmica consiste em pequenas variações de intensidade na execução de cada nota.

Binet e Courtier [BINET, COURTIER, 1895] realizaram os primeiros estudos sobre microdinâmica, eles conseguiram registrar a força com que era pressionada a tecla de um piano, para isso utilizaram um pequeno tubo de borracha posicionado embaixo das teclas. À medida que essas teclas eram pressionadas, pulsos de ar formados pelo tubo controlavam uma agulha que registrava a ação em um papel em movimento. Com isso foi possível investigar a execução de trinados, acentos e variações de dinâmica. Esse estudo possibilitou identificar padrões de ações conduzidas por pianistas para realizar gestos expressivos, como por exemplo, um acento, pois além de imprimir maior tensão na tecla acentuada, o intérprete toca a nota precedente mais destacada e a nota acentuada um pouco alongada e mais ligada à nota seguinte [GABRIELSSON, 1999]. Em 1898, Ebhardt [EBHARDT, 1898] publicou um estudo onde ele utilizava dispositivos eletromecânicos para registrar o pressionamento das teclas do piano que assim como Binet e Courtier [BINET, COURTIER, 1895], também identificou alongamentos em notas acentuadas.

Esses correspondem aos trabalhos mais significativos sobre microdinâmica que se tem conhecimento. No Brasil, entretanto, não foi encontrado nada em computação musical que fizesse uma alusão ao termo microdinâmica. Mesmo as pesquisas que abordaram a música brasileira [GOUYON, 2007] e [WRIGHT, BERDAHL, 2006], restringiram-se apenas ao microandamento.

Neste estudo serão abordadas, no contexto do violão de bossa nova, as duas dimensões de expressividade, até porque suspeita-se que estejam relacionadas.

## 2.4 Microandamento

Nos últimos anos, várias correntes de instrumentistas seguidores da doutrina de “fidelidade ao texto” [GUNTHER] têm pregado a rigidez métrica, defendendo que o papel do intérprete é ser um intermediário – o mais fiel possível – entre a suposta idéia do compositor e a execução musical que efetivamente chega aos ouvintes. Entretanto, indícios da época do Renascimento, apontam que os próprios compositores utilizavam *rubato* (aceleravam ou desaceleravam uma canção/peça) para interpretar suas obras, o que pode significar que haveria uma contradição no que se refere à fidelidade à idéia original do compositor. Porém, além dessa provável contradição, a rigidez métrica enfrenta outra questão. Segundo Anton Schindler [SCHINDLER, 1966], Beethoven utilizava a mudança de andamentos para conseguir expressividade e não queria que suas canções fossem tocadas pelo rigor frio de um metrônomo. Assim como Beethoven, muitos músicos associam comumente à rigidez métrica a frieza e o *rubato* à expressividade [GUNTHER].

De acordo com o exposto anteriormente deve-se refletir um pouco sobre a seguinte questão: o que justifica tanto rigor com relação à exigência métrica na execução se essa rigidez pode comprometer a expressividade musical? Fatos históricos nos remetem a determinar a origem deste paradigma.

Gunther Schüller em seu livro “The Complete Conductor” relata que no auge da era romântica e pós romântica houve uma grande polêmica entre os regentes em relação aos andamentos. Havia duas tendências distintas. A primeira, influenciada por Beethoven, defendia a liberdade de mudanças de andamento e dela participaram os regentes conhecidos como “*Alemães Românticos*”: Wagner, Furtwängler, entre outros. A segunda tendência defendia a manutenção rígida de andamentos e dela participavam os regentes Berlioz, Toscanini, entre outros.

A linha pró-liberdade de tempo acusava os regentes mais conservadores de serem simples “batedores de compasso”, intelectuais, frios e sem sentimentos. Em contrapartida, os regentes mais conservadores censuravam os “românticos”,



apontando seu excesso de indulgência, permissividade e sentimentalismo. Com o passar do tempo e principalmente com o avanço tecnológico, que consegue identificar nuances de milissegundos, a corrente dos regentes conservadores foi perdendo espaço, pois, por menor que seja, uma performance executada por um humano possui expressividade. É, portanto, essa busca de sentimento, swing, molho feitas por meio de micro andamentos que pretende-se estudar.

Conforme foram observadas, as variações rítmicas são instrumentos poderosos para dar sentimento “humano” para o ritmo. É preciso compreender que numa performance musical, esses tipos de variações ou micro variações temporais ocorrem constantemente. Muitas notas musicais que parecem ser temporalmente precisas aos ouvidos das pessoas (conforme pensavam os regentes conservadores do romantismo), contêm micro variações de tempo decorrentes de características humanas individuais, as quais podem ser analisadas atualmente graças aos avanços tecnológicos.

Sendo assim, conforme já exposto, essas pequenas variações de tempo serão chamadas de *Microandamentos*, do inglês *Microtiming* [GOUYON, 2007], que são antecipações e atrasos de uma nota que ocorrem ao redor de um tempo musical, imperceptíveis do ponto de vista da correteza musical, mas que levam a música a transmitir um sentimento ao ouvinte.

Estudos sobre microandamento tiveram início no mesmo período que os estudos de microdinâmica, já que ambos são subconjuntos da expressividade musical, entretanto, ao longo destes anos a maioria dos pesquisadores sempre procurou dar uma maior ênfase à análise de microandamento, pois consideram os resultados mais significativos do ponto de vista do estudo da expressividade musical, o que nem sempre é uma realidade.

Muitas canções são baseadas num modelo teórico de ritmo no qual o tempo das notas é especificado em termos de divisões inteiras de batidas. No entanto, numa performance executada por músicos habilidosos, uma grande parte da expressividade vem do microandamento.

Microandamento deve consistir em pequenas, mas significantes variações do exato momento em que a nota deve ser executada sem, contudo, fazer com que a canção perca sua correteza. Estes desvios são facilmente identificados por um leigo quando, por exemplo, um computador realiza uma performance com os tempos executados no momento exato (sem micro desvios). Nesse caso, percebe-se claramente a forma mecânica com que a máquina toca.

Frequentemente esses micro-desvios são classificados inapropriadamente como discrepância (Keil, 1995), ruídos ou imprecisões (Rasch, 1988). No entanto diversos estudos dedicam-se a cobrir essas assim chamadas “imprecisões”, as

quais transmitem não apenas informações sobre a estrutura musical, mas também, provêem uma janela sobre a representação cognitiva da música.

Sears em 1902 [SEARS, 1902] publicou um dos primeiros estudos em microandamento, onde, utilizando também dispositivos eletromecânicos mediou variações na duração de notas de mesmo valor, na duração de compassos e nas proporções entre durações de notas de valores distintos tocados por organistas.

Sundberg e Verrillo [SUNDBERG, VERRILLO, 1980] propuseram que cada intérprete segmentasse as frases de uma mesma partitura individualmente, delimitando o início e o final das mesmas a partir de desvios de tempo.

Posteriormente Todd [TODD, 1985], propôs um modelo computacional para os desvios temporais que enfatizam a hierarquia das frases musicais. Esse modelo estabelece relações entre variações de tempo de performance e o comportamento de um corpo em movimento utilizando equações de cinemática [TODD, 1995]. Já Clynes [CLYNES, 1995] formalizou padrões de variação de tempo relacionado a compositores específicos.

Bilmes [BILMES, 1993] conduziu uma análise de microandamento a partir da gravação da performance de um grupo afro-cubano de rumba – Los Muñequitos de Matanzas onde nessa análise ele pôde observar janelas de 20 à 80 milissegundos onde a segunda e a quinta batidas de uma caixa tendem a ser tocadas com 30 milissegundos de antecipação enquanto que a primeira e a terceira atrasam esse mesmo período de tempo em média.

Dois importantes estudos foram publicados recentemente sobre o jazz: Freeman & Lacey, 2002 [FREEMAN, LACEY, 2002] identificaram janelas de 30 milissegundos ao redor de uma batida enquanto que Friberg e Sundstrom, 2002 [FRIBERG, SUNDSTRÖM, 2002], caracterizaram um padrão longo/curto de colcheias que proporciona o swing do jazz.

No Brasil num estudo recente sobre microandamento em Samba de Roda, Fabien Gouyon, 2007 [GOUYON, 2007] verificou que dentre os vinte músicos que participaram da pesquisa 30% dos mesmos antecipavam a 1ª e a 3ª notas enquanto que outros 23% antecipavam a 1ª, 2ª e 4ª notas, onde a janela de tolerância era de 50 milissegundos. Os experimentos de Gouyon foram realizados a partir de áudio de CDs ripados.

Outro importante estudo de microandamento no Brasil foi feito por Wright e Berdahl [WRIGHT, BERDAHL, 2006]. Com o auxílio de um percussionista profissional eles gravaram nove ritmos brasileiros: escola, olodum, sambareg, rockbahia, maracanã, partalto, sambafunk, afoxé e baião. Após a gravação eles aplicaram algumas técnicas de aprendizagem de máquina para analisar microandamento por unidade de tempo. Os resultados de microandamento por eles

encontrados ainda estão longe do sonho de ter uma máquina que receba valores arbitrários como entrada e produza um resultado igual à execução de um humano, no entanto, eles constataram que seus resultados possuem desvios bastante expressivos quando comparados com uma execução mecânica.

No entanto, o que caracteriza a originalidade desse estudo são o estilo musical (bossa nova) e o instrumento (violão) escolhidos. Dentro do próprio estilo são encontradas outras originalidades: no que concerne ao método de análise, trabalhou-se não apenas a unidade de tempo (semínima) individualmente, como também a análise por frase de bossa nova, onde uma frase é composta por dois compassos de dois tempos. Ainda no que se refere ao método, foram também analisados os padrões rítmicos encontrados por Ernesto [\[TRAJANO, 2007\]](#).

## 2.5 Conclusões

Conforme se observa anteriormente, existem vários estudos sobre microandamento em diversos gêneros musicais, em diversos países e sobre diversos instrumentos.

Os estudos sobre psicologia tentam identificar as intenções do intérprete no momento de uma execução. Mesmo esses estudos apontando para uma direção, é bastante complicado afirmar que um intérprete teve ou não uma determinada intenção ao executar uma música e mais ainda comparar as intenções de intérpretes que tocaram músicas diferentes em épocas diferentes e para públicos diferentes.

Com relação à existência ou não da expressividade, discussão essa iniciada no auge da era romântica e pós romântica, hoje é possível verificar com maior clareza que os regentes conservadores possuíam uma visão ultrapassada, já que é praticamente impossível para um músico executar uma canção com as mesmas variações de rítmico e dinâmica, mesmo que essas sejam imperceptíveis ao ouvido humano, não passarão despercebidas numa análise computacional.

Sobre os estudos de microdinâmica e microandamento, acredita-se que a melhor forma de análise consiste em janelas de tempo. Esse modelo foi adotado por dois estudos sobre música brasileira: Gouyon [\[GOUYON, 2007\]](#) e Wright [\[WRIGHT, BERDAHL, 2006\]](#) os quais obtiveram resultados bastante significativos, A principal vantagem desse modelo consiste na possibilidade de aumentar ou diminuir o tamanho da janela de acordo com a necessidade do pesquisador.

Diante do exposto, observa-se a existência de um bom número de pesquisas em microandamento e microdinâmica, no entanto, a maioria das pesquisas foi feita no âmbito da música clássica e do piano. Alguns poucos estudos sobre estes temas foram realizados na música brasileira, no entanto, nenhum na bossa nova. No

próximo capítulo será abordado o método de desenvolvimento, bem como as etapas trilhadas para alcançar os objetivos.

### 3 Método

No capítulo anterior foi descrito o que é a expressividade musical, bem como o estado da arte sobre as pesquisas nesse importante segmento da musicologia. Independentemente da importância indiscutível que o violão e a bossa nova representam para a cultura brasileira, que em si só já justificariam este trabalho, acredita-se que a passagem da música clássica para a música popular traz novos desafios. De fato, a transmissão de conhecimento no contexto da música popular e no caso do violão brasileiro, é majoritariamente oral e a notação comumente usada é ainda mais imprecisa do que a partitura, deixando assim, mais liberdade de interpretação ao músico.

Ao longo deste capítulo será explicado o método utilizado no desenvolvimento desta pesquisa. Primeiramente apresentam-se maiores detalhes sobre o porquê da escolha da bossa nova e do violão. Em seguida, levantam-se as hipóteses investigadas, esclarecendo o que se espera encontrar. Por fim, tem-se uma visão geral da maneira como o trabalho foi desenvolvido: aquisição dos dados, tratamento dos mesmos, métricas utilizadas, etc.

#### 3.1 Objetos e objetivos

O objetivo desta investigação é estudar os fenômenos de microandamento e microdinâmica na expressividade musical e verificar de que forma as análises realizadas permitem compreender como tais aspectos são caracterizados na bossa nova. A escolha do estudo dessas características musicais foi feita levando-se em conta dois principais fatores conforme discutido no capítulo anterior: o primeiro fator consiste na importância dessas características em estudos que surgiram no final do século XIX e se estendem até os dias atuais. O segundo fator consiste na ausência de estudos dessas características no projeto "Um país um violão".

A escolha da bossa nova como objetivo de estudo foi feita levando-se em consideração dois fatores: 1º) o estilo e instrumento já estarem sendo trabalhados no projeto "Um país um violão"; 2º) a necessidade de se analisar outros estilos que não fossem a música clássica, fazendo com que no futuro seja possível realizar estudos comparativos não apenas com a música clássica, mas também com outros tipos de músicas que vêm sendo estudados como o samba de roda [GOUYON, 2007], ritmos cubanos [CLYNES, 1995] e ritmos africanos [MCGUINESS]. Outro fator preponderante é que a bossa nova por ser uma manifestação da cultura nacional ainda é pouco estudada no âmbito da computação musical dada a sua importância cultural no nosso país.

Sabe-se que a transmissão de informação na música clássica é feita via partitura, restringindo um pouco a liberdade do intérprete, não significando entretanto ausência de expressividade. Já no violão de bossa nova essa informação é comumente transmitida por meio de songbooks (Figura 3.1) ou apenas por meio oral (muitas vezes o violonista não sabe sequer ler uma partitura), o que a torna bastante imprecisa e aumenta a liberdade de expressão do músico, gerando assim maiores desafios na análise desse estilo musical.

<b>D7M(9)</b>	<b>E7(9)</b>		
Se você disser que eu desafino amor			
<b>Em7(9)</b>	<b>A7(13)</b>	<b>F#m7(b5) F#dim</b>	
Saiba que isso em mim provoca imensa dor			
<b>Em7(9)</b>	<b>F#7(b13)</b>	<b>B7M</b>	<b>F#dim</b>
Só privilegiados têm ouvido igual ao seu			

Figura 3.1 – Cifra desafinada

Dado que o estilo a ser estudo é a bossa nova, nada mais óbvio que o violão - principal ícone desse estilo e tão bem representado por João Gilberto - como sendo o instrumento que represente o objeto de estudo.

Diante da escolha de se estudar microandamento e microdinâmica na bossa nova e mais particularmente no violão popular brasileiro, na próxima secção serão levantadas as questões que se espera responder como resultado desses estudos.

### 3.2 Hipóteses

Os estudos que foram analisados ao longo do capítulo 2 apontam para a existência de padrões de microandamento e microdinâmica na música clássica. Sendo assim, supõe-se que esses padrões existiriam também na bossa nova. Porém, além de verificar sua existência será preciso determinar como e onde observá-los?

Conforme já foi discutido, as pesquisas em microandamento, especialmente as feitas em música popular, se concentram em estudar as variações em torno da unidade de tempo. Ora, é sabido que a bossa nova é formada por frases, onde cada frase possui dois compassos do tipo 2/4 (duas unidades de tempo por compasso). Ernesto, por exemplo, conseguiu identificar recorrências dessas frases as quais ele classificou e agrupou em padrões rítmicos [TRAJANO, 2007].

Sendo assim, o primeiro questionamento a ser feito é: qual a relação entre os padrões de microandamento e microdinâmica e as frases? Estudar cada unidade de tempo isoladamente é suficiente? Estudar um compasso individualmente é suficiente? A hipótese levantada é que, como a frase, ou o padrão rítmico a ela associado, é o elemento básico estruturador (building-block) do discurso musical, ela certamente terá uma influência nos padrões de microandamento e microdinâmica.

Complementando, há de se perguntar se existe algum tipo de relacionamento entre os padrões de microandamento e os de microdinâmica. Caso essa resposta seja também positiva, pode-se construir a compreensão de que a própria noção de padrão possa ser multi-facetada, na medida em que se exprimiria de várias formas: no tempo, no microtempo, na intensidade, e talvez nos próprios contornos melódicos, em se tratando de solos. Em outras palavras, pode ser que os padrões rítmicos (divisão macroscópica do tempo) sejam indissociáveis dos padrões de microandamento e de microdinâmica.

Enfim, já que o projeto "Um país um violão" conta com gravações de dois violonistas busca-se, a partir dessas canções, entender melhor as variantes de intérprete para intérprete entre os padrões de microandamento e de microdinâmica, caso eles existam.

### 3.3 Etapas

Com o intuito de responder as questões da secção anterior, será apresentada uma visão geral do método utilizado, já que maiores detalhes poderão ser encontrados ao longo dos capítulos subsequentes.

Primeiramente definiu-se o objeto e o objetivo do estudo. Após essa escolha, realizou-se uma análise dos estudos existentes de microandamento e microdinâmica com o intuito de levantar os problemas encontrados, bem como as soluções propostas pelos vários pesquisadores ao longo dos anos. De posse de um maior conhecimento sobre o assunto, foram então definidas as hipóteses que deverão ser respondidas, de acordo com a secção anterior.

A etapa seguinte constituiu-se na escolha da base de dados. O corpus de dados analisado foi adquirido do trabalho de Ernesto [\[TRAJANO, 2007\]](#), no entanto, foi necessário realizar um pré-processamento desse corpus, pois Ernesto identificou a ocorrência dos padrões rítmicos em arquivos de texto e era necessário identificar essa informação nos arquivos midi originais. Maiores detalhes de como esse pré-processamento foi realizado serão vistos ao longo do [capítulo 4](#).

Com as canções em mãos, necessitou-se definir quais medidas seriam utilizadas nos resultados dos experimentos. Utilizou-se a Estatística Descritiva que

tem como objetivo básico sintetizar uma série de valores de mesma natureza, permitindo dessa forma, que se tenha uma visão global da variação desses valores. Ao longo deste trabalho foram utilizadas as três formas de descrever dados pela Estatística Descritiva: tabelas, gráficos e medidas descritivas.

Por fim, os experimentos foram realizados com o auxílio de uma ferramenta desenvolvida para essa análise. A primeira parte da ferramenta foi feita para análise de microdinâmica, onde a base de dados foi dividida por intérprete, com o intuito de obter informações mais detalhadas, antes do processamento dos dados. Após finalizar a análise de microdinâmica, foi construída a segunda parte da ferramenta que consiste na análise de microandamento, análise essa que foi realizada nas mesmas condições da análise de microdinâmica.

Neste capítulo, foi visto o porquê da escolha do violão e da bossa nova como objeto e objetivo de estudo, as hipóteses que foram propostas e as etapas seguidas com o intuito de responder os questionamentos levantados. Ao longo dos próximos capítulos serão vistos maiores detalhes das informações aqui apresentadas.



## 4 Corpus analisado

No capítulo anterior, foi descrito o método de estudo com base nos objetos e objetivos, das hipóteses levantadas e das etapas utilizadas para alcançar os objetivos desta pesquisa. A partir de agora entra-se definitivamente na forma como este trabalho foi desenvolvido. Neste capítulo serão apresentados os detalhes sobre o corpus de dados analisado.

### 4.1 Formato dos dados

Antes de continuar, torna-se importante uma breve explicação sobre *MIDI*. *MIDI*, abreviatura de *Musical Instrument Digital Interface* é uma tecnologia padronizada de comunicação entre instrumentos musicais e equipamentos eletrônicos (teclados, guitarras, computadores), possibilitando que uma composição musical seja executada, transmitida ou manipulada por qualquer dispositivo que reconheça este padrão. Diferentemente dos formatos de áudio (wave, mp3, por exemplo) o *MIDI* é um conjunto de instruções para produção deste áudio, ou seja, poderia ser definido de forma leiga como uma partitura digitalizada. Essas instruções definem os instrumentos, notas, timbre, ritmos, efeitos e outras características que serão utilizadas para a geração dos eventos musicais.

Para fazer a análise da expressividade musical, é importante, primeiramente, capturar os dados da canção a ser analisada. Há, basicamente, duas maneiras de se realizar essa captura: a) diretamente do áudio, onde se tem a canção de forma fiel como foi executada, porém a extração simbólica, mais facilmente manipulável pelo computador, pode ser bastante complexa; b) por meio de instrumentos *MIDI* que fornecem uma saída simbólica (em formato *MIDI*), porém exigindo do pesquisador que o mesmo disponha de tais instrumentos. Essa segunda opção foi a escolhida no projeto por já fornecer diretamente a informação simbólica e pela disponibilidade de um violão *MIDI*. De toda forma, junto com a captura *MIDI*, também foi gravado, ao mesmo tempo, o áudio dessas canções para uma eventual necessidade futura, por exemplo, uma comparação entre as informações de ambas as gravações resultam no mesmo resultado?

Essas canções que formam a base de dados atual do projeto “Um país um violão”, foi construída por Ernesto [\[TRAJANO, 2007\]](#) ao longo de seu trabalho. Com o intuito de facilitar a manipulação das informações, Ernesto realizou as gravações de forma que cada corda do violão corresponda a um canal conforme observa-se na [Figura 4.1](#).

1	🎵	Canal 11 - Corda E	Vol	(101)	M	S	R	🔊	🔇
2	🎵	Canal 12 - Corda B	Vol	(101)	M	S	R	🔊	🔇
3	🎵	Canal 13 - Corda G	Vol	(101)	M	S	R	🔊	🔇
4	🎵	Canal 14 - Corda D	Vol	(101)	M	S	R	🔊	🔇
5	🎵	Canal 15 - Corda A	Vol	(101)	M	S	R	🔊	🔇
6	🎵	Canal 16 - Corda E	Vol	(101)	M	S	R	🔊	🔇

Figura 4.1: Canais MIDI

Um fator preponderante para utilização dessas canções foi o fato de também ser possível realizar uma análise de microandamento e microdinâmica nos padrões rítmicos encontrados por Ernesto [TRAJANO, 2007].

Dado que o MIDI é uma informação simbólica, havia dúvidas quanto à confiabilidade da captura via um violão MIDI, principalmente no que diz respeito à dimensão temporal, de cuja precisão depende a análise de microandamento. Com o objetivo de garantir essa confiabilidade das informações MIDI, dentro do projeto “Um país um violão” foi realizado um estudo comparativo entre a detecção de ataques indicada pelo violão MIDI e algoritmos de detecção de ataques aplicados ao áudio gravado simultaneamente a captura MIDI [JUNIOR, 2006]. Os resultados mostraram que não havia diferença estatisticamente relevante entre os dois, concluindo que a informação de detecção de ataque do violão MIDI é tão confiável quanto o que se pode obter hoje a partir do áudio.

## 4.2 Características dos dados

Diante da escolha do MIDI como forma de armazenamento e da confiabilidade dos dados gravados nesse formato, é importante destacar algumas características da base de dados.

Para que as gravações ocorressem da forma mais natural possível não foi utilizado nenhum tipo de metrônomo, deixando assim o intérprete livre quanto a sua expressividade. Em contrapartida, criou-se a necessidade de serem adicionados marcos a partir dos quais as análises deveriam ser feitas. Foi então, que Ernesto [TRAJANO, 2007] inseriu os beat trackings ou pulsações. Esta estrutura métrica foi inserida nas obras baseada no aplicativo *BeatRoot* criado por Dixon [DIXON, 2001] que é uma ferramenta de indução de pulsação e funciona de maneira interativa mesmo em canções onde existem grandes e bruscas mudanças no andamentos. Primeiro o sistema induz as suas pulsações da obra em análise para em seguida o usuário poder ouvir os resultados corrigindo eventuais imprecisões, por exemplo, pulsos que foram induzidos erroneamente.

Outra característica importante que a base de dados possui é que a mesma encontra-se livre de ruídos. Foram chamados de ruídos, eventos estranhos que ocorreram nas canções, por exemplo, eventos onde o *velocity*<sup>1</sup> é desprezível, ou eventos impossíveis de acontecerem num violão devido à anatomia das mãos, entre outros. Esses eventos foram limpos primeiramente por Ernesto [TRAJANO, 2007], no entanto, ele encontrou problemas alguns dos quais corrigidos posteriormente por Ricardo [SCHOLZ, 2008]. Esse processo de limpeza de dados foi de extrema importância para este trabalho, já que com os dados corrigidos as atenções voltaram-se apenas para a parte de análise.

Saindo um pouco das características técnicas de armazenamento, e devido ao foco do projeto ser o estudo da bossa nova, os intérpretes selecionaram algumas canções de João Gilberto de seus respectivos repertórios e ficaram livres para executá-las de acordo com sua expressividade, seguindo apenas as cifras previamente fornecidas.

A [Tabela 4.1](#) abaixo mostra em ordem alfabética quais canções foram gravadas e por quem:

---

<sup>1</sup> **Velocity:** é um atributo dos eventos MIDI que indica a intensidade com que um evento deve ser executado. Equivale a força com que a nota é tocada pelo intérprete nos arquivos capturados por violões MIDI.

<i>Canções</i>	<i>Intérprete 1</i>	<i>Intérprete 2</i>
A Felicidade	X	
Bim Bom		X
Chega de Saudade	X	
Corcovado	X	
Desafinado	X	
Eu Sei Que Vou Te Amar	X	
Garota de Ipanema	X	X
Insensatez	X	X
O Barquinho		X
Samba De Uma Nota Só	X	
Só Danço Samba		X
Tarde em Itapoã	X	
Wave	X	X

Tabela 4.1: Gravações

Com base na tabela acima, observa-se que foram gravadas canções diferentes pelos intérpretes, mas também, que houve canções gravadas por ambos: Garota de Ipanema, Insensatez e Wave. Isto foi feito propositalmente para aumentar a robustez da análise. Verificou-se também que foram gravadas dezesseis canções, com uma média de dois minutos por cada canção o que nos dá um universo bastante razoável de dados a serem analisados.

#### 4.3 Identificação dos padrões rítmicos

No seu trabalho, Ernesto [TRAJANO, 2007] identificou recorrências de frase na bossa nova as quais foram denominadas de padrões rítmicos. Esses padrões ocorreram na mesma música e em músicas distintas. A partir da identificação desses padrões resolveu-se também compará-los no que diz respeito às variações de microandamento e microdinâmica.

Ernesto utilizou uma cadeia de strings para representar as gravações MIDI (Figura 4.2). Essa representação (no formato de strings) foi utilizada por Ernesto, pois é assim que trabalham os algoritmos de extração de padrões (string matching) por ele utilizados.

| A---P---B-p-+--- | A---P---B-p-+l-- |

Figura 4.2 – Início da canção Barquinho na notação de Ernesto

No entanto, para a análise proposta neste trabalho, fazia-se necessário obter as informações exatas de tempo e intensidade, informações essas que se faziam presentes apenas nos arquivos midi, ou seja, não estavam explícitas nas representações textuais dos padrões. A [Figura 4.3](#) representa dois padrões na canção Barquinho, bem como suas ocorrências ao longo da música.

```
Patterns for file :strings/BarquinhoGeber-string-4perBeat.txt
Total number of classes :8
=====
StarGraph 0
Prototype: l--|B---P---B-p-+l-|B---P---B-p-+l- @ 31::67 Total similarity: 0.8235282574568288
Number of occurrences: 13 Occurrences:
|A---P---B-p-+---|A---P---B-p-+l-- @ 0::33 Local similarity :0.8125
l-|B-p-+p---P-p-+l-|B---P---B-p-+l- @ 66::101 Local similarity :0.8125
l-|B---P---B-p-+l-|B---P---B-p-+s- @ 100::135 Local similarity :0.8877551020408163
|A---P---B-p-+l-|B---P---B-p-+b- @ 136::169 Local similarity :0.8645833333333334
|A---P---B-p-+l-|B---P---B-p-+l- @ 170::203 Local similarity :0.8645833333333334
l-|B---P---B-p-+l-|B-p-+p-A-p-+l-- @ 202::238 Local similarity :0.8
l--|B---P---B-p-+s--|A-p-+p-B-p-B--- @ 236::272 Local similarity :0.8
|A---P---B-p-+l-|B---P---B-p-+b- @ 307::340 Local similarity :0.84375
|A---P---B-p-+l--|B---P---B-p-+s- @ 341::374 Local similarity :0.8645833333333334
|A-p-+p-B-p-+l-|B---P---B-p-+b-- @ 375::408 Local similarity :0.78125
|A---P---B-p-+l-|B---P---B-p-+l- @ 409::442 Local similarity :0.84375
l-|B---P---B-p-+s-|A-p-+p-B-p-+s-- @ 441::476 Local similarity :0.7653061224489796
l-|B---P---B-p-+s-|A-p-+p-B-p-+--- @ 577::612 Local similarity :0.7653061224489796

StarGraph 1
Prototype: l-|B---P---B-p-+l-|B---P---B-p-+s- @ 100::135 Total similarity: 0.8251530612244901
Number of occurrences: 12 Occurrences:
|A---P---B-p-+---|A---P---B-p-+l-- @ 0::33 Local similarity :0.846938775510204
l--|B---P---B-p-+l-|B---P---B-p-+l- @ 31::67 Local similarity :0.8877551020408163
l-|B-p-+p---P-p-+l-|B---P---B-p-+l- @ 66::101 Local similarity :0.8061224489795918
|A---P---B-p-+l-|B---P---B-p-+b- @ 136::169 Local similarity :0.8571428571428572
|A---P---B-p-+l-|B---P---B-p-+l- @ 170::203 Local similarity :0.8775510204081632
l-|B---P---B-p-+l-|B-p-+p-A-p-+l-- @ 202::238 Local similarity :0.81
|A---P---B-p-+l-|B---P---B-p-+b- @ 307::340 Local similarity :0.8571428571428572
|A---P---B-p-+l--|B---P---B-p-+s- @ 341::374 Local similarity :0.8571428571428572
|A-p-+p-B-p-+l-|B---P---B-p-+b-- @ 375::408 Local similarity :0.7551020408163265
|A---P---B-p-+l-|B---P---B-p-+l- @ 409::442 Local similarity :0.8367346938775511
l-|B-p-+p---B-p-+l-|B-p-+p-B-p-B--- @ 509::544 Local similarity :0.7551020408163265
l-|B---P---B-p-+s-|A-p-+p-B-p-+--- @ 577::612 Local similarity :0.7551020408163265
```

Figura 4.3 - Formato dos padrões de Ernesto

Para que fosse possível identificar os padrões no MIDI foi necessário entender a nomenclatura utilizada por Ernesto nos arquivos txt, onde se tem a seguinte legenda:

A: Todas as cordas tocadas ao mesmo tempo (Baixo + Puxada).  
P: Puxada.  
B: Baixo.  
l: (letra l) Antecipação, ocorre entre mudanças de compasso.  
s: Solo, uma única nota diferente do baixo sendo tocada.  
+: Indicação do tempo.  
-: Indicação de contra tempo.  
|: (barra) Final de compasso.

OBS: Letras maiúsculas significam que o evento ocorreu no tempo, enquanto que letras minúsculas indicam que o evento ocorreu no contra tempo.

Sendo assim, para identificar o local exato dos padrões encontrados por Ernesto (Figura 4.3) nas gravações midi, a primeira tarefa a ser feita foi ordenar os padrões e suas ocorrências bem como eliminar as duplicações existentes. Essas duplicações ocorreram devido ao fato de Ernesto classificar uma ocorrência como pertencente a um padrão de acordo com a similaridade da ocorrência do padrão em relação ao protótipo sugerido. Este trabalho classificou cada ocorrência como pertinente a um único protótipo (a que possuía maior similaridade com o protótipo). A Figura 4.4 mostra todos os padrões que ocorreram na canção barquinho, e o local onde os mesmos ocorreram. Na Figura 4.4 observa-se claramente o local onde cada padrão ocorre, por exemplo, o primeiro padrão inicia na unidade de tempo zero e termina na unidade de tempo 33. Um fator importante que deve ser observado é que cada quatro unidades de tempo de Ernesto correspondem a um tempo musical na canção.

```
| A---P---B-p-+---| A---P---B-p-+l-- 0 0::33
l--| B---P---B-p-+l-| B---P---B-p-+l- 0 31::67
l-| B-p-+p--P-p-+l-| B---P---B-p-+l- 0 66::101
l-| B---P---B-p-+l-| B---P---B-p-+s- 0 100::135
| A---P---B-p-+l-| B---P---B-p-+b- 0 136::169
| A---P---B-p-+l-| B---P---B-p-+l- 0 170::203
l-| B---P---B-p-+l-| B-p-+p-A--p-+l-- 0 202::238
l--| B---P---B-p-+s--| A-p-+p--B-p-B--- 0 236::272
| A---P---B-p-+l-| B---P---B-p-+b- 0 307::340
| A---P---B-p-+l--| B---P---B-p-+s- 0 341::374
| A-p-+p-B-p-+l-| B---P---B-p-+b-- 0 375::408
| A---P---B-p-+l-| B---P---B-p-+l- 0 409::442
l-| B---P--bB--p-+s-| A-p-+p-B-p-+s-- 0 441::476
| A---P---A---P---| A---P---B-p-+l- 0 477::510
l-| B-p-+p--B-p-+l-| B-p-+p-B-p-B--- 0 509::544
l-| B---P--bB-p-+s-| A-p-+p-B-p-+--- 0 577::612
```

Figura 4.4 – Padrões ordenados

Após a ordenação dos padrões, o passo seguinte consistiu em identificar de forma manual a ocorrência dos padrões adicionando uma trilha com uma nota (marcador) que indica o início e o fim do padrão, conforme [Figura 4.5](#).

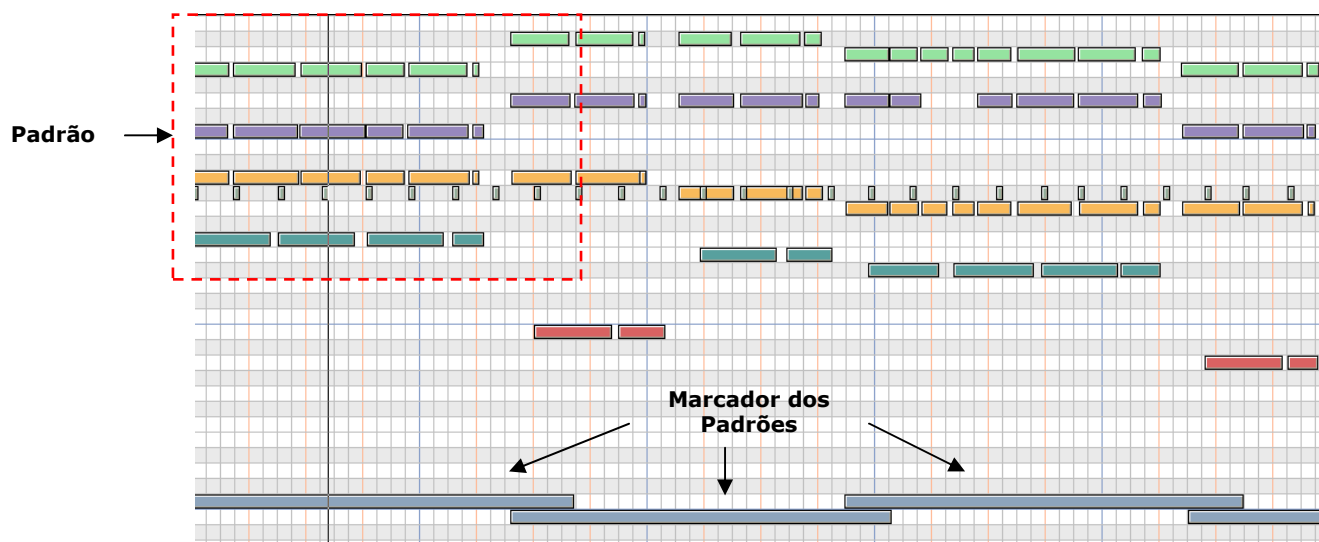


Figura 4.5 – Padrão identificado na gravação midi

A partir da legenda acima e da seguinte representação textual: |A---P---B-p-+---|A---P---B-p-+l, extraída da [Figura 4.4](#) identificou-se na [Figura 4.5](#) o primeiro padrão rítmico da canção Barquinho.

Dessa forma, lendo o arquivo da [Figura 4.4](#) e procurando identificar visualmente no arquivo midi o padrão correspondente, de acordo com a nomenclatura utilizada por Ernesto, depois de despender cerca de duas horas para conseguir terminar uma única canção e verificar que se tratava de um trabalho bastante repetitivo e amolador, resolveu-se então, listar os problemas existentes no processo de identificação na tentativa de criar um algoritmo capaz de automatizar essa tarefa.

O primeiro passo já havia sido dado. Durante a identificação manual, os padrões foram identificados criando-se eventos na trilha sete. Esses eventos são as notas C3 e B2, onde o início da nota coincide com o início do padrão assim como o final da nota coincide com o final do padrão. A utilização de duas notas marcadoras foi feita devido à existência de sobreposição de padrões.

O passo seguinte consistiu na identificação manual dos padrões em outras canções, observando os problemas existentes. Abaixo uma lista dos principais problemas encontrados:

1. *Padrões que são sobrepostos.*
2. *Padrões sem sobreposição*
3. *Intervalos de compassos entre padrões.*
4. *Antecipação no início de um padrão sendo o compasso anterior um padrão.*
5. *Antecipação no início de um padrão onde o compasso anterior não é um padrão.*
6. *Antecipação no final de um padrão sendo o compasso posterior um padrão.*
7. *Antecipação no final de um padrão onde o compasso posterior não é um padrão.*

As figuras abaixo exemplificam as ocorrências de cada um destes problemas. A lógica onde ocorrem as notas marcadoras (B2 e C3) bem como os padrões é a mesma da [Figura 4.5](#).

A primeira figura ([Figura 4.6](#)) representa três problemas: no primeiro problema (a sobreposição) observa-se que as notas correspondentes ao final do primeiro padrão também são as mesmas notas de início do segundo padrão. A partir de conversas com especialistas foi definido que esse acorde realmente faz parte de ambos os padrões. Os outros dois problemas representados, são bastante semelhantes ao problema 1 e consistem em considerar a sobreposição como uma antecipação de final de compasso do padrão atual, sendo o compasso atual um padrão (problema 4) ou considerar uma antecipação de início de compasso do padrão subsequente (problema 6).

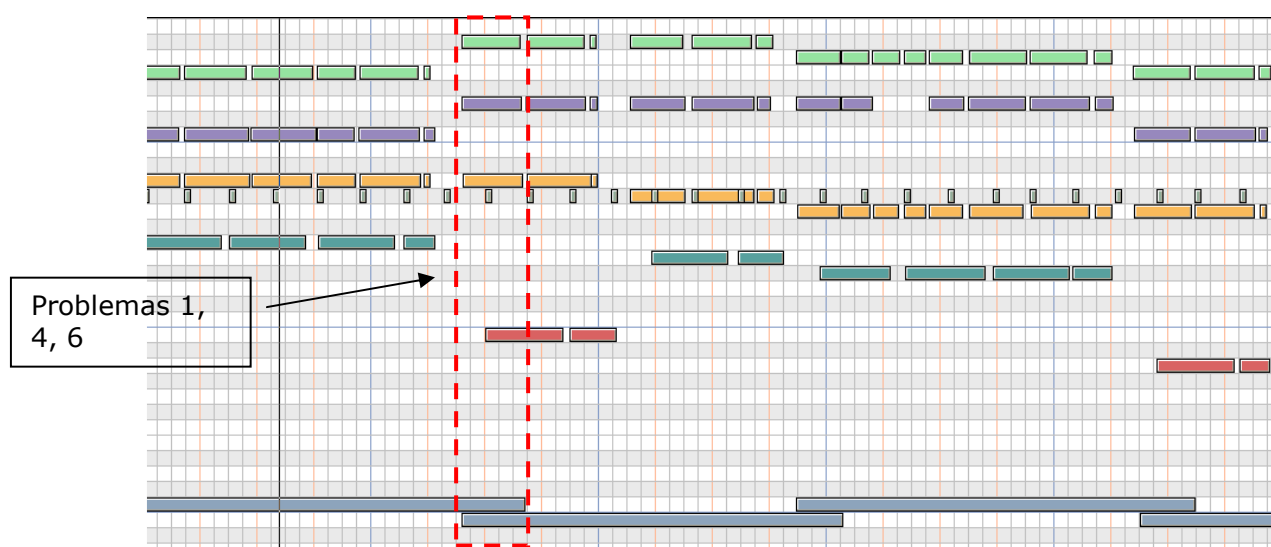


Figura 4.6 - Problemas 1, 4, 6



A [Figura 4.7](#), mostra a situação onde o padrão atual termina exatamente antes do nono beat e o padrão seguinte inicia exatamente no nono beat, ou seja, nesse caso não houve necessidade de tratar antecipações de início e fim de padrões.

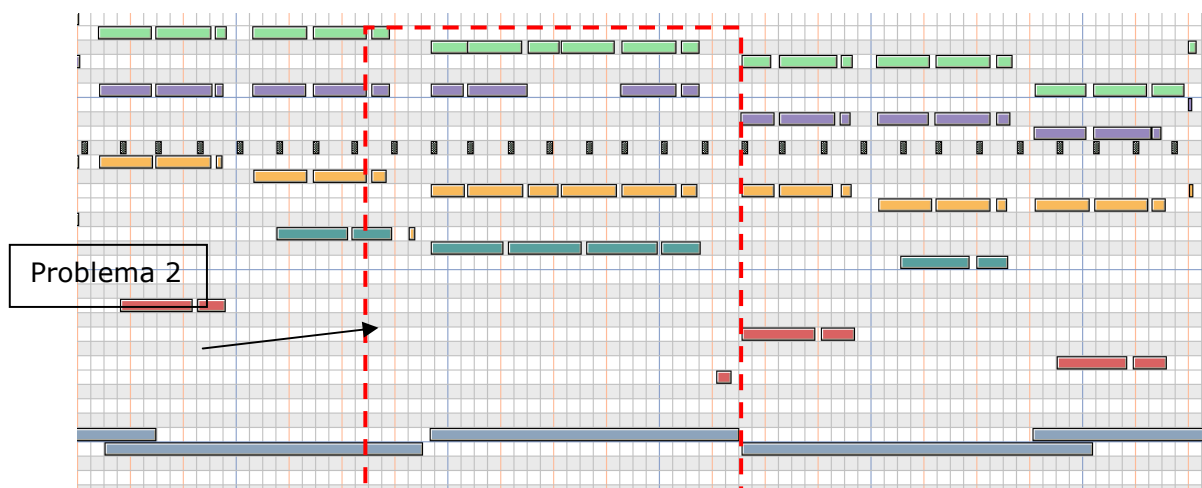


Figura 4.7 – Problema 2

O próximo problema (problema 3), representado pela [Figura 4.8](#), identifica a situação onde existe uma lacuna entre dois padrões. Essa lacuna é um conjunto de notas que não foram consideradas padrão e, portanto, não são o foco de estudo desse trabalho.

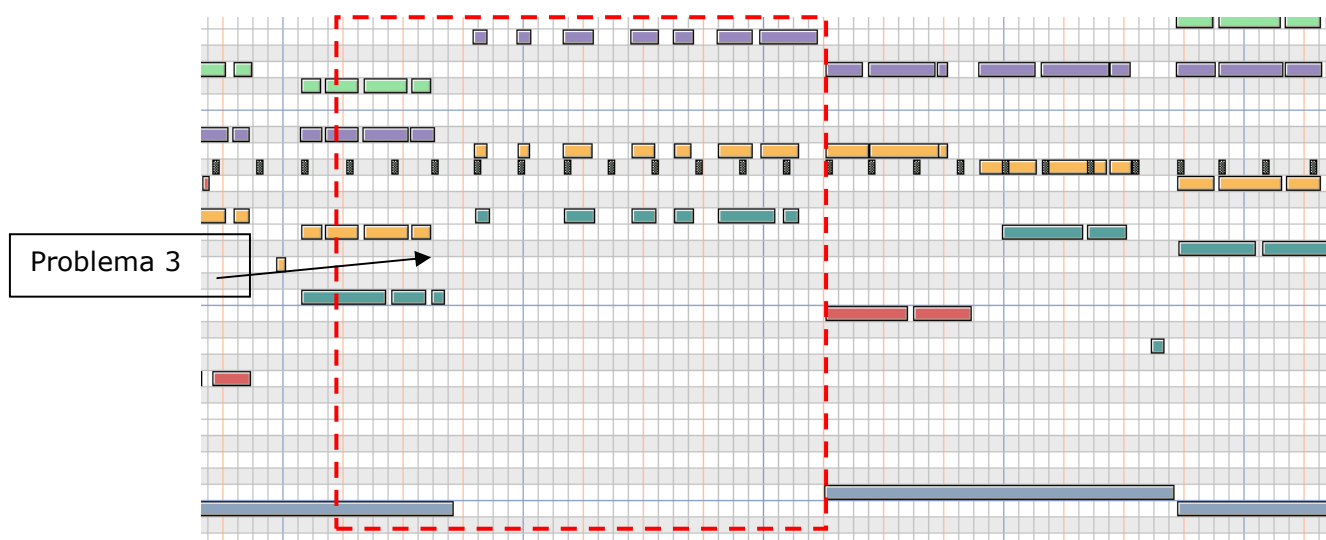


Figura 4.8 – Problema 3

O problema 5, corresponde a situação em que existe uma antecipação de início de padrão, no entanto, o compasso anterior não é considerado um padrão

(Figura 4.9). Dessa forma, a antecipação só deverá ser considerada como fazendo parte do padrão, diferentemente do problema 4.

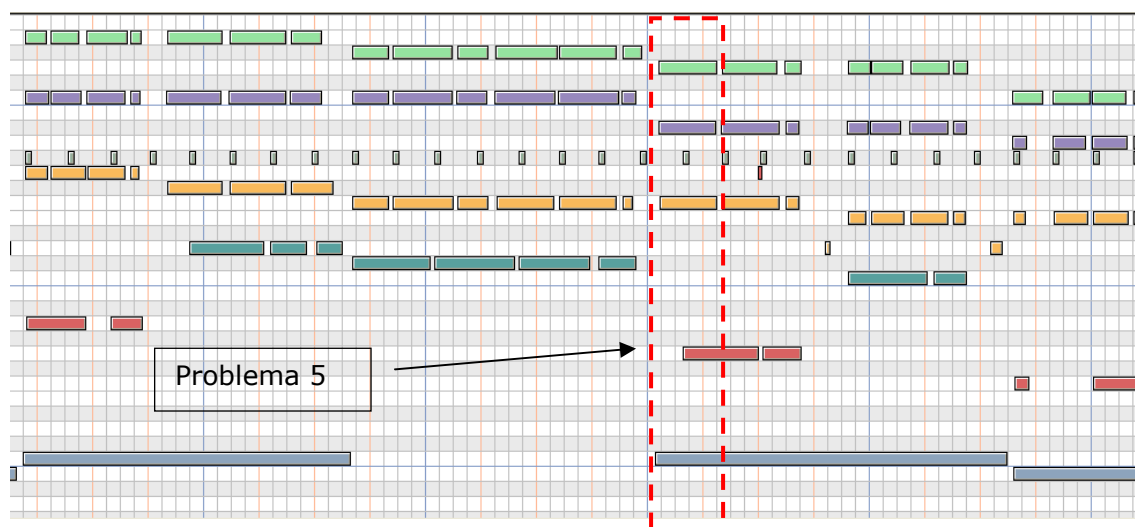


Figura 4.9 – Problema 5

Por fim, a Figura 4.10, é o inverso da situação anterior. Nesse caso a antecipação faz parte do final do padrão, mas não é considerada para o próximo compasso, já que o mesmo não constitui um padrão.

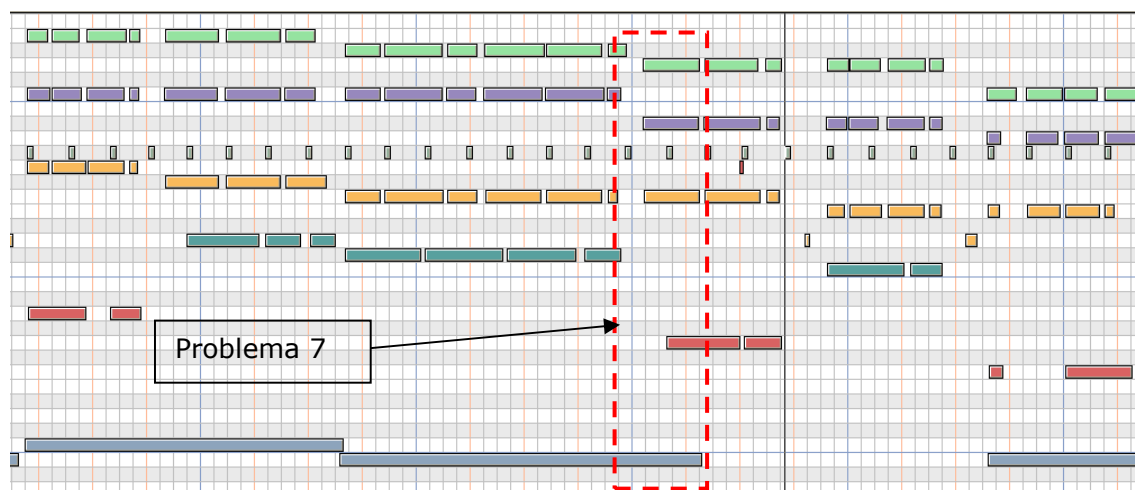


Figura 4.10 – Problema 7

Para tratar desses problemas foi criado então um conjunto de regras, que simplificadas são mostradas a seguir:

1. Se o padrão não possui antecipações, então ele possui exatamente oito tempos (oito beats recuperados do beat tracking).
2. Se o padrão possui antecipação no final, então o padrão termina no final da antecipação.
3. Se o padrão possui antecipação no início então, ele começa no início da antecipação.

Com essas três regras, o passo seguinte foi aplicá-las manualmente sobre algumas canções. Após aplicar as regras, foi verificado que as mesmas funcionavam de forma bastante eficaz, portanto, poderiam virar um processo automático.

Sendo assim, foi desenvolvido o algoritmo de *Identificação de Padrões*, o qual funciona da seguinte maneira: a partir da leitura dos padrões que encontram-se no formato de texto (Figura 4.4), o mesmo insere automaticamente identificadores de padrões no arquivo midi, semelhante ao processo manual.

Aplicou-se então o algoritmo de identificação de padrões comparando os resultados obtidos automaticamente com o resultado obtido manualmente com o intuito de provar a confiabilidade do algoritmo. Essa comparação foi feita em seis arquivos da base de dados, o que representa aproximadamente 40% da base atual. Foram identificados 164 padrões nessas seis canções com 100% de acerto quando comparados com a identificação manual, dessa forma, o algoritmo foi utilizado na identificação dos padrões nas canções restantes. A Figura 4.11 mostra o resultado dos marcadores inseridos automaticamente e manualmente.

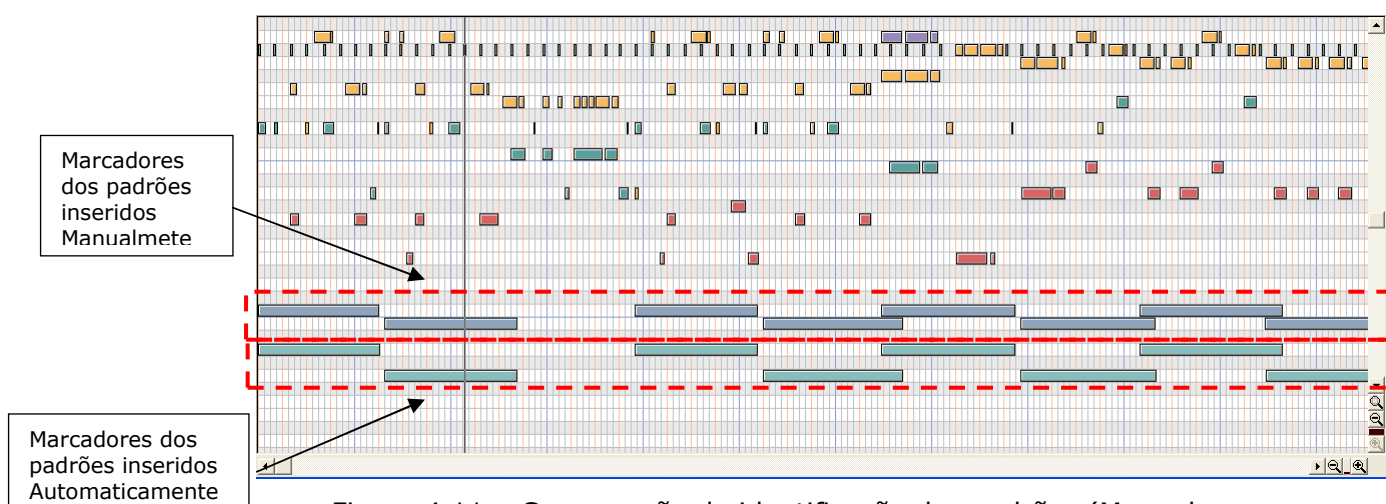


Figura 4.11 – Comparação da identificação dos padrões (Manual x Automático)

#### 4.4 Extração dos padrões rítmicos

Dado que já haviam sido identificadas as localizações dos padrões nas canções, foi então necessário criar o algoritmo de *Extração de Padrões*. Esse algoritmo consiste em “recortar” os eventos MIDI que representam o padrão e salvar esses eventos em um novo arquivo MIDI.

O algoritmo funciona da seguinte forma: lê os eventos da trilha sete, ou seja, as notas C3 e B2 e para cada nota identifica os eventos das outras trilhas que estão no intervalo da nota correspondente, salvando esses eventos como novos arquivos MIDI, excluindo claro, o evento da trilha sete. A [Figura 4.12](#) mostra um arquivo que representa um padrão.

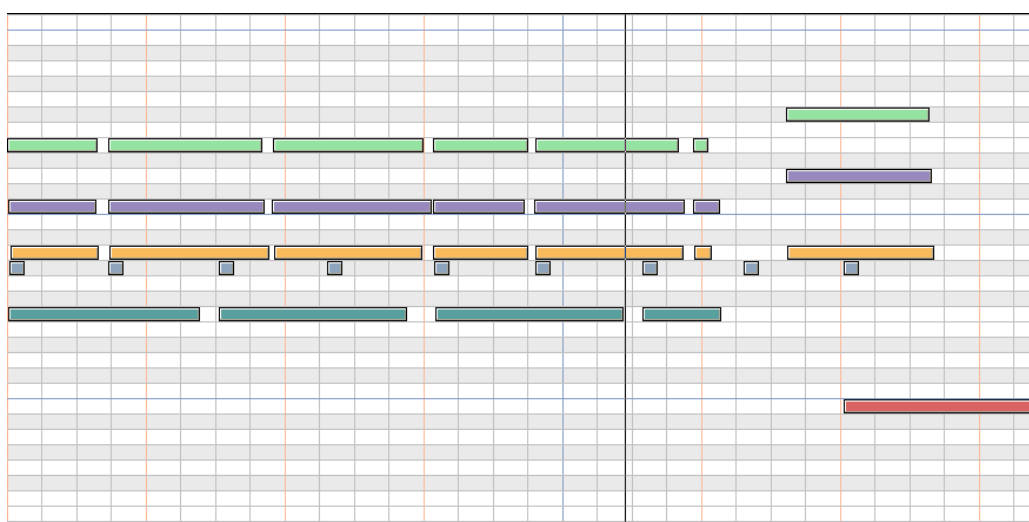


Figura 4.12 – Primeiro padrão de Barquinho

#### 4.5 Janelas de análise

Nesta e na próxima secção serão abordados alguns aspectos referentes à maneira que os dados foram analisados. Primeiramente serão tratadas as janelas de análise.

Conforme visto no [capítulo 2](#), os estudos sobre microdinâmica e microandamento tratam exclusivamente da janela de análise por unidade de tempo. A [Figura 4.13](#), mostra como são feitas as análises baseadas nessa unidade.

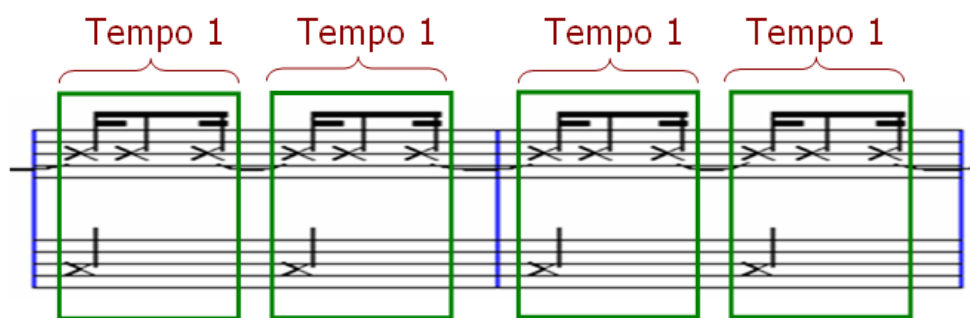


Figura 4.13 – Janela de unidade de tempo

Para este trabalho serão consideradas ainda dois tipos de análise além da unidade de tempo: a análise por compasso (Figura 4.14) e a análise por frase (Figura 4.15).

Na janela de compasso observa-se que as análises serão feitas levando-se em conta cada compasso de dois tempos. Ou seja, os dados do tempo 1 serão calculados com os dados de tempo 1 dos demais compassos, assim como os dados de tempo 2.

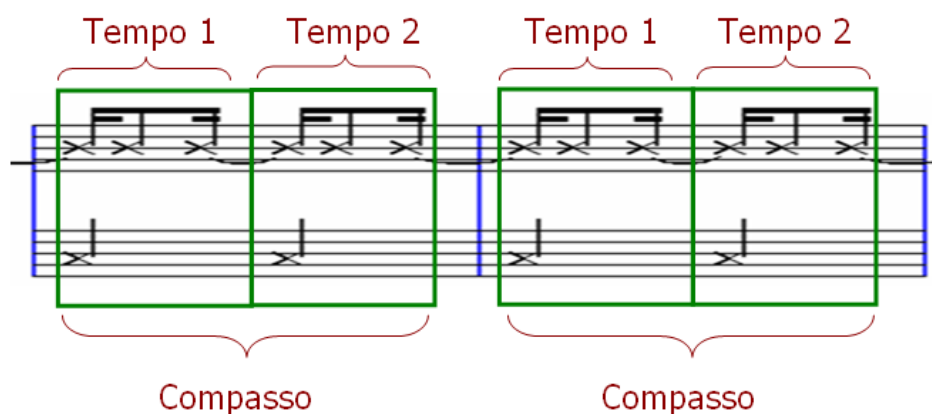


Figura 4.14 – Janela de compasso

A última janela a ser mostrada é a janela da frase, ressalta-se que essa janela é formada por dois compassos onde cada compasso possui dois tempos conforme já foi mencionado. Dessa forma os dados a serem calculados levam em consideração quatro tempos existentes na frase, onde T1 é calculado com T1 das demais frases, T2 com T2 e assim sucessivamente.

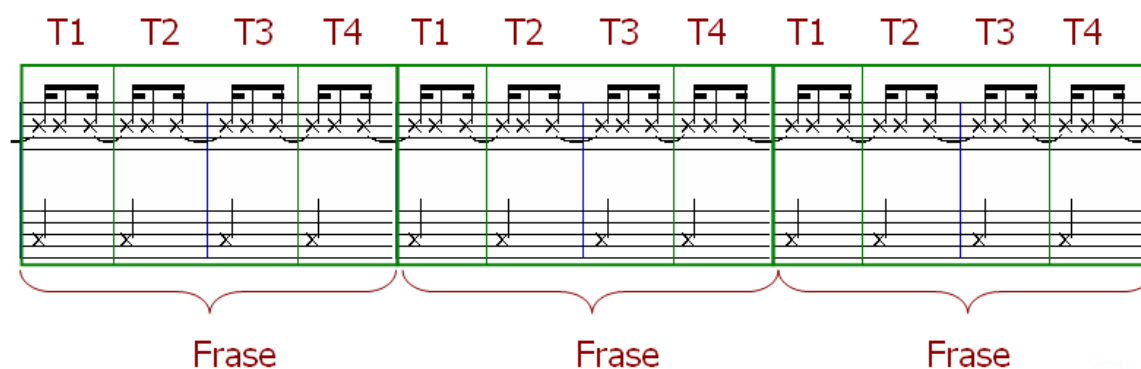


Figura 4.15 – Janela de frase

#### 4.6 Formas de análise

Na secção anterior foram vistas as janelas de análise que serão trabalhadas. Esta secção mostra a forma como foram analisadas essas canções.

Utilizou-se a seguinte abordagem relativa à forma de análise: dividiu-se o intervalo entre dois tempos em quatro partes iguais que foram chamadas de cabeça ou 1ª semicolcheia, 2ª semicolcheia, 3ª semicolcheia e 4ª semicolcheia. Essa divisão é chamada de divisão binária e foi escolhida porque na bossa nova ela é mais preponderante que a divisão ternária [Sandroni, 2001]. A Figura 4.16 representa essa divisão.

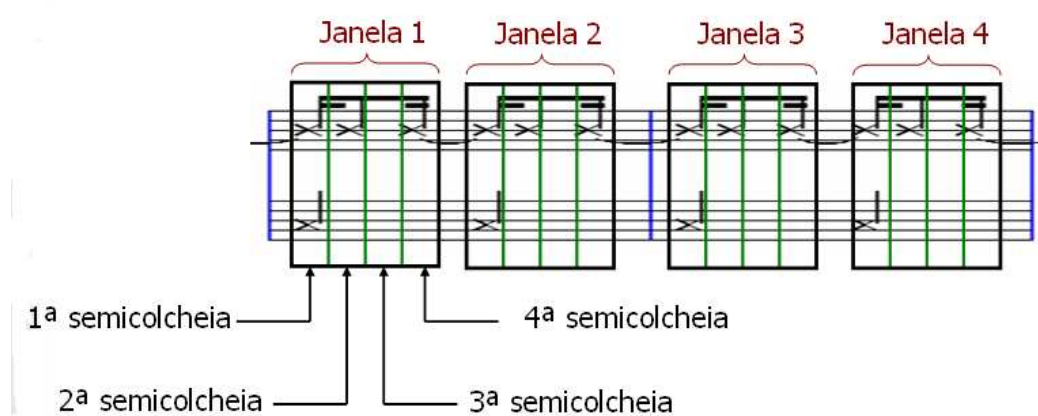


Figura 4.16 – Divisão binária

O pseudo-código que segue ilustra como se dá essa análise de microandamento e microdinâmica:

```

para cada arquivo faça:
    obtenha os beats //eventos da trilha 7
    obtenha os eventos midi das demais trilhas // trilhas 1..6
    para cada uma das trilhas faça:
        obtenha os elementos da trilha corrente
        para cada um dos beats faça:
            calcule o intervalo entre o beat atual e o
            próximo
            divida o intervalo em 4 partes iguais
            para cada um dos eventos da trilha corrente que estão
            no intervalo calculado faça
                classifique o evento em uma das coleções: tempo,
                2ªsemicolchei, 3ªsemicolchei e 4ªsemicolchei de
                acordo com o intervalo de quatro partes iguais
                crie um objeto com as coleções preenchidas e uma indicação
                dizendo à que tempo aquele objeto pertence
            calcule as frequências de ocorrência de eventos nas coleções
            calcule as médias de microdinâmica nas coleções
            calcule as médias dos desvios de microandamento nas coleções

```

Com o objetivo de facilitar o entendimento do algoritmo acima será demonstrado um exemplo prático do funcionamento do mesmo. Esse exemplo consiste no início da canção Barquinho (dois primeiros tempos) tocado pelo intérprete 1. A [Figura 4.17](#) exemplifica o processo.

```

003----->025<-----047----->069<-----091----->113<-----135----->157<-----180
180----->201<-----222----->243<-----264----->285<-----306----->328<-----350

```

Figura 4.17: Exemplo da segmentação de dois tempos de Barquinho

Em **negrito** tem-se os beats ou cabeças (em ticks<sup>2</sup>) correspondentes a esses dois compassos (**003,180,350**). Esses valores dos beats foram obtidos por Ernesto [\[TRAJANO, 2007\]](#) conforme explicado anteriormente. Já a parte *itálico sublinhada* corresponde aos valores da 2ª, 3ª e 4ª semicolcheias respectivamente e foram obtidos de acordo com a divisão binária proposta neste trabalho, ou seja, dividiu-se o tempo em 4 partes iguais  $(180-003)/4$  que truncado corresponde a 44. Dessa forma a 2ª semicolcheia é igual a  $003+44=047$ , a 3ª semicolcheia  $047+44=091$  e a 4ª semicolcheia igual a  $091+44=135$ . O mesmo procedimento é feito para o segundo tempo  $(350-180)/4$ , onde obtêm-se os valores: 222, 264 e

<sup>2</sup> **Ticks:** Um tick constitui o menor intervalo de tempo no SMF (Standard MIDI File).

306. Todos esses valores correspondem ao exato momento em que as notas deveriam ser tocadas no caso de uma execução totalmente mecânica.

No entanto, para classificar os eventos como pertinentes a uma das coleções (cabeça, 2ª semicolcheia, 3ª semicolcheia ou 4ª semicolcheia) dividiu-se ao meio a distância entre duas coleções adjuntas e classificou-se os eventos como pertencentes a uma dada coleção de acordo com a localização do evento nesta divisão. Por exemplo, dividindo ao meio as seguintes coleções do primeiro tempo: 2ª semicolcheia (047) e 3ª semicolcheia (091) tem-se  $(091-047)/2=22$ , ou seja, os eventos menores que  $047+22=069$  e maiores ou iguais a 025 (025 é o valor da divisão ao meio das coleções adjacentes cabeça e 2ª semicolcheia) serão classificados como pertencentes ao conjunto 2ª semicolcheia, os eventos maiores ou iguais a 069 e menores que 113 (113 é o valor da divisão ao meio das coleções adjacentes 3ª semicolcheia e 4ª semicolcheia) serão classificados na 3ª semicolcheia e assim sucessivamente. Toda essa classificação acima faz parte apenas do primeiro tempo, no entanto essa mesma lógica passa a valer para os demais tempos.

Dessa forma ao final da primeira parte do algoritmo tem-se uma coleção de objetos que contém as seguintes informações: eventos ocorridos na cabeça, eventos ocorridos na 2ª semicolcheia, eventos ocorridos na 3ª semicolcheia e eventos ocorridos na 4ª semicolcheia. De posse desses dados foram calculadas as médias de microdinâmica e as médias dos desvios de microandamento nas seguintes situações: cálculo das médias tempo à tempo (semínima à semínima), cálculo das médias compasso a compasso, cálculo das médias frase à frase e por fim cálculo das médias nos padrões. Os detalhes do resultado desses cálculos serão abordados mais a frente no [Capítulo 6: Experimentos e Resultados](#).

Ao longo deste capítulo, foram obtidas informações sobre o corpus de dados deste trabalho. Viu-se o porquê de se trabalhar com o formato midi ao invés do áudio, as características existentes nas canções como, por exemplo, a presença do beat tracking e a ausência de ruídos. Também foram identificados os locais nos arquivos midi onde os padrões ocorrem, dado que essa informação existia apenas em arquivos txt. Foram também criados os arquivos midi correspondentes aos padrões encontrados, e que, junto com as gravações completas das canções formam o corpus de dados do projeto. Por fim, foi demonstrado como foi feita a análise dos dados através de um exemplo da aplicação do algoritmo principal deste trabalho.



## 5 Implementação

Neste capítulo será vista a forma como foi implementada a solução para o problema da análise de microandamento e microdinâmica. Serão abordados aspectos técnicos como a linguagem de programação escolhida, a arquitetura do sistema entre outros fatores inerentes a parte de desenvolvimento. Por fim, será mostrada a ferramenta de análise de microdinâmica e microandamento que foi desenvolvida ao longo desta pesquisa.

### 5.1 Organização do trabalho

A escolha da linguagem de programação, o design arquitetural, os frameworks utilizados, bem como seus principais pacotes e suas principais classes servirão de documentação para ajudar a entender melhor como o sistema foi implementado. São esses aspectos da implementação que serão vistos adiante.

O desenvolvimento deste trabalho foi realizado de uma forma que pudesse utilizar um dos pilares da Orientação a Objeto que é o reuso de software. Nesse aspecto aproveitou-se ao máximo os frameworks já existentes – graças ao bom legado das pessoas que deram sua contribuição ao projeto “Um país um violão” – aumentando assim nossa responsabilidade de deixar um componente bom e estável para ser usado por outros que estão por vir.

O trabalho foi desenvolvido utilizando a linguagem de programação *Java*. A escolha da linguagem deu-se devido à robustez do framework desenvolvido por outros estudantes do projeto “Um país um violão” nessa plataforma. Dessa forma o reuso de software foi extremamente importante no desenvolvimento. Outros fatores que foram levados em consideração foi o fato de java possuir um ambiente de desenvolvimento gratuito e também devido à boa documentação existente para a API “java sound midi”, a qual foi fundamental para o desenvolvimento do sistema.

Além da API “java sound midi” também foram utilizadas três importantes partes do framework “Um País um Violão” que serão abordadas nas seções abaixo. Neste documento não houve a preocupação de explicar detalhadamente todos os módulos visto que isso já foi objeto de estudo do trabalho dos respectivos autores, no entanto, serão destacadas as principais classes utilizadas por nosso trabalho.

## 5.2 API Java sound MIDI

A API Java Sound MIDI teve grande importância neste trabalho. Aqui será feita uma breve explanação das principais classes utilizadas no desenvolvimento com o objetivo de uma melhor compreensão do assunto abordado, já que este não é o foco deste trabalho.

A API *Java Sound* provê o mais baixo nível de suporte a sons usando a tecnologia java. Ela é dividida em dois pacotes: `java.sound.sampled` e `java.sound.midi`. Aqui será detalhado apenas o pacote MIDI, que foi o principal pacote utilizado ao longo da construção do framework “Um país um violão”.

Abaixo uma rápida explicação das principais classes utilizadas no framework:

- `MidiMessage` – Classe abstrata que representa uma mensagem MIDI. Possui três subclasses, sendo a mais importante a `ShortMessage`: que representa as mensagens comuns como *Note On*, *Note Off*.
- `MidiEvent` – Representa os eventos MIDI.
- `Track` – É uma coleção de `MidiEvent`.
- `Sequence` – É uma coleção de `Tracks`.

Outras importantes classes existentes na API java sound, não foram citadas pelo fato de não terem uma importância relativamente alta na ajuda da compreensão do componente. No entanto, para pessoas que irão trabalhar com a API java sound é de extrema importância a leitura do javadoc desta API bem como do guia do programador, ambos encontrados no site da *sun* referenciado na bibliografia deste trabalho.

## 5.3 API Rittornelo

A API *Rittornello* consiste na primeira parte do framework que constitui o projeto “Um país um violão”. Nela várias classes encapsulam eventos MIDI, provendo assim, os primeiros componentes de alto nível necessários a esta aplicação. A principal classe utilizada foi:

- `Note` – Classe que representa uma nota musical. Possui basicamente o nome da nota (dó, ré, mi, fá etc) e algum tipo de acidente caso a nota venha a ter.

## 5.4 API Scholz

Uma extensão da API rittornello, essa foi a principal API utilizada neste trabalho. Dessa API foi utilizada a parte que encapsula os eventos MIDI de baixo nível como note on e note off e fornece esses conceitos em alto nível conforme será explicado abaixo.

Ricardo [SCHOLZ, 2008] estendeu a API rittornello, adicionando funcionalidades necessárias para a sua pesquisa bem como aproveitando funcionalidades já existentes. Assim, como estrutura base do nosso sistema, foi utilizada a API de Scholz, dado que a mesma por intermédio do pacote scholz.basic encapsula eventos MIDI como note\_on e note\_off da API java sound e, conforme já falado, fornece para o desenvolvedor conceitos de alto nível bem mais próximos dos utilizados nas partituras musicais. Esses conceitos que foram utilizados ao longo deste trabalho.

As principais classes utilizadas dessa API foram:

- `NoteEvent` – Representa um evento MIDI em alto nível com informações como: um objeto `Note` (que representa a nota tocada), a oitava onde a nota foi tocada, a intensidade, a duração, a trilha onde encontra-se a nota, o canal e o tick inicial. É importante observar que o mapeamento entre um `NoteEvent` e um evento MIDI propriamente dito não é um para um, pois pode-se ter, por exemplo, eventos de `note_on` e `note_off` mapeados em apenas um `NoteEvent`.
- `HighLevelMidiEvent` – Representação em alto nível do objeto MIDI.
- `HighLevelMidi` – Coleção de `HighLevelMidiEvent` (por exemplo `NoteEvent`) onde além do próprio objeto `HighLevelMidiEvent`, contém informações como a track onde os eventos ocorrem e à divisão das canções entre outras.

## 5.5 Arquitetura

Conforme já foi citado, a contribuição deste trabalho para o framework deu-se em uma camada acima das camadas já explicadas anteriormente (ritornello e Scholz API's), isso ocorreu devido a essas API's já implementarem objetos os quais encapsulam os eventos MIDI necessários para o desenvolvimento. Nesta seção será feita uma explanação das principais classes dessa nova camada que foi inserida no framework "Um país um violão".

A arquitetura deste projeto foi desenvolvida seguindo o padrão MVC (Model-View-Controller) de desenvolvimento de software:

- Model – Representa o estado do sistema. Nesse componente estão localizadas as classes de persistência.
- View - É a parte visível para o usuário, onde o mesmo seleciona as opções disponíveis e entra com dados. Pode ser uma interface gráfica (GUI), uma interface em modo texto (Command Line) ou uma interface web.
- Controller – Coordena as solicitações e informações vindas do usuário para o sistema e as envia para a classe de destino no componente Model.

O pacote model possui duas importantes classes que representam os modelos dessa aplicação e que são detalhadas abaixo:

- EventByTime – Essa classe representa todos os eventos que ocorrem em um determinado tempo. Ela possui quatro coleções de NoteEvents que representam todos os eventos relacionados ao tempo (cabeça), 2ª semicólcheia, 3ª semicólcheia e 4ª semicólcheia bem como um número inteiro que representa o tempo em que aqueles eventos ocorreram.
- Frequence – Armazena as frequências de ocorrência de cada evento (tempo, 2ª semicólcheia, 3ª semicólcheia e 4ª semicólcheia) em cada tempo, compasso, frase, assim como, o nome do arquivo, o tempo e o compasso onde eles ocorreram.

O pacote view possui as classes responsáveis pelo layout da aplicação. Hoje se tem uma aplicação desktop desenvolvida em swing, no entanto esse pacote foi desenvolvido de forma a minimizar o acoplamento permitindo assim que, caso no

futuro haja o desejo de fazer uma aplicação web ou qualquer outro tipo, haverá uma mudança mínima.

- Gui – Classe de mesmo nome do pacote, cria quase todos os componentes gráficos da interface e também gerencia os componentes que não estão inseridos nela. Essa classe também é o ponto de partida do sistema.

O último pacote do padrão MVC é o pacote da controller. Esse pacote é o coração do sistema, nele encontram-se os algoritmos responsáveis pelos cálculos de microandamento e microdinâmica.

- Facade – Implementação do padrão homônimo faz a ligação entre a gui e os demais objetos do model e do controller.
- ReadMidi – Principal classe do sistema, onde encontra-se o algoritmo responsável por toda a parte operacional.

Ainda dentro do padrão controller, existe o pacote util. Esse pacote possui as duas classes que são responsáveis por inserir nos arquivos MIDI originais marcadores relativos aos padrões identificados por Ernesto [\[TRAJANO, 2007\]](#) e criar novos arquivos MIDI representando os padrões a partir desses marcadores.

- InsertPatterns – Insere marcadores no arquivo midi original onde esses marcadores são eventos que identificam o local onde ocorre o padrão.
- ExtractPatterns – A partir do padrão identificado pela classe InsertPatterns, essa classe é responsável por extrair todos os padrões do arquivo original e salvar os mesmos como novos arquivos.

## 5.6 Ferramenta de análise

A [Figura 5.1](#) mostra a interface do framework “Um país um violão”, e suas várias ferramentas de análise. A aba selecionada consiste contribuição dada por esta pesquisa, onde observa-se a interface da ferramenta de análise de microdinâmica que é praticamente a mesma interface da ferramenta de análise de microandamento. A forma de operação de ambas é bastante simples. O botão “Browser” seleciona o diretório contendo as músicas a serem analisadas e o botão “Start” inicia a análise. O painel da [Figura 5.1](#) mostra o resultado da análise feita

por unidade de tempo, por compasso e por frase. Por fim, o botão “Export” exporta os dados para um arquivo no formato xls.

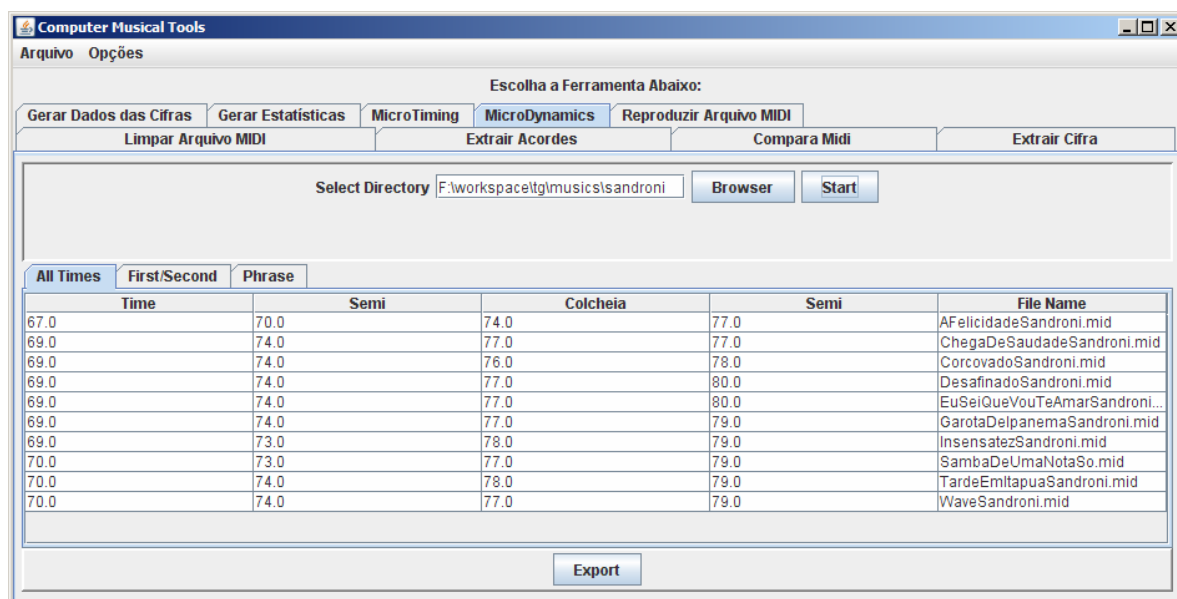


Figura 5.1 – Interface do framework

Neste capítulo, foi destacada a forma de desenvolvimento da aplicação construída para auxiliar as análises de microandamento e microdinâmica. Observa-se que foram seguidos os princípios da orientação a objeto, principalmente o reuso através da utilização de várias API's, destacando-se a API de Scholz. Essa API encapsula os objetos midi e fornece essas informações como conceitos de alto nível próximos a de uma partitura musical. Por fim, foi mostrada a ferramenta de análise de microandamento e microdinâmica que foi desenvolvida, bem como, uma rápida explicação do funcionamento da mesma.

## 6 Experimentos e resultados

Com o fim da etapa de preparação dos dados e uma rápida explicação sobre a implementação do sistema vista no capítulo anterior, a partir de agora serão descritos os experimentos realizados, os quais buscam estudar a expressividade existente na forma de tocar bossa nova com um violão popular. Ao longo deste capítulo serão demonstrados como foram feitos estes experimentos e os resultados obtidos relativos à microandamento e microdinâmica.

A partir da análise do corpus de dados tenta-se responder as seguintes questões:

- 1) Há padrões de microdinâmica e microandamento?
- 2) Qual a janela de análise ideal para se estudar o violão de bossa nova (tempo, compasso, frase)?
- 3) Qual a similaridade dos padrões de microandamento e microdinâmica quando tocados por diferentes músicos?
- 4) Qual a similaridade dos padrões rítmicos com relação à microandamento e microdinâmica quando tocados em canções diferentes?
- 5) Os padrões de microandamento e microdinâmica são influenciados pelo andamento da canção?

Antes de continuar, três pontos importantes devem ser destacados com o intuito de melhorar o entendimento das próximas secções:

A. No caso da análise de microandamento, números negativos significam que houve antecipação em relação ao exato momento em que a nota deveria ser tocada, enquanto que, números positivos indicam o atraso realizado pelo músico. Deve ficar claro, entretanto, que especificamente estes atrasos e antecipações não constituem erro e sim a expressividade a qual é o objeto de estudo deste trabalho.

B. Não foi constatado nenhum dado que não houvesse atrasos nem antecipações (no mesmo momento do beat), dessa forma valores iguais a zero significam que a nota não foi tocada.

C. As linhas verticais que aparecem com limites inferior e superior correspondem aos desvios padrões.

## 6.1 Análise dos padrões

Nesta secção serão analisadas as médias das variações de microandamento e microdinâmica que ocorreram nas canções tocadas por ambos os intérpretes.

A primeira análise corresponde aos desvios de microandamento feitos pelo intérprete 1 (Figura 6.1) e pelo intérprete 2 (Figura 6.2). Observam-se desvios sistemáticos no modo de tocar de ambos. Verifica-se também que em apenas uma das quatro ocorrências têm-se um significativo desvio padrão. Isso também ocorre em ambos os casos (microdinâmica e microandamento).

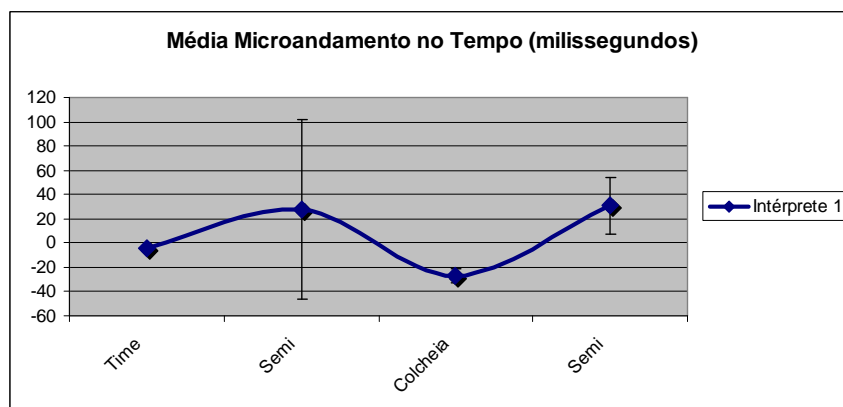


Figura 6.1 – Média microandamento intérprete 1 ( milissegundos )

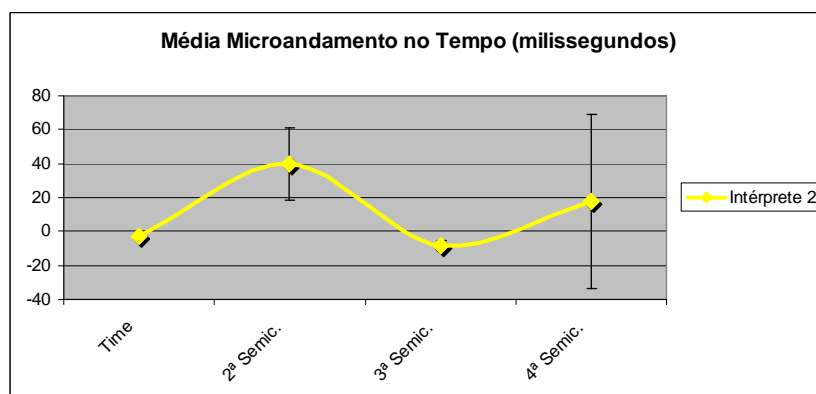


Figura 6.2 – Média microandamento intérprete 2 ( milissegundos )

Na análise correspondente aos desvios de microdinâmica (Figura 6.3 e Figura 6.4) é confirmado que assim como microandamento cada intérprete tem sua maneira típica de execução, ou seja, possui suas próprias características de intensidade de execução.



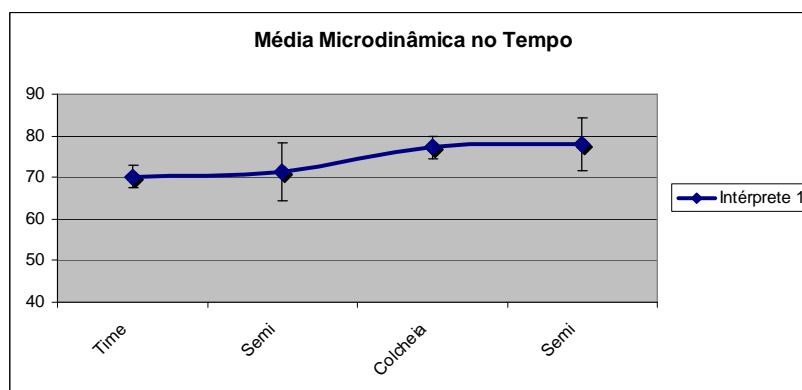


Figura 6.3 – Média microdinâmica intérprete 1 ( milissegundos )

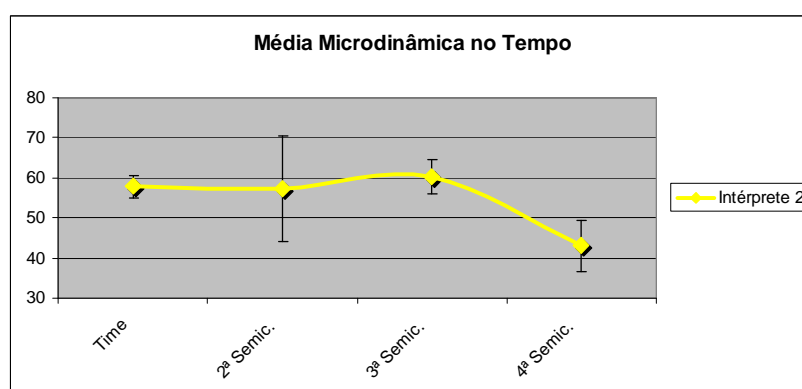


Figura 6.4 – Média microdinâmica intérprete 2 ( milissegundos )

Sendo assim, pode-se responder ao questionamento (1) deste capítulo e concluir que existem padrões tanto de microandamento como de microdinâmica e que estes padrões variam de acordo com o intérprete.

## 6.2 Escolha da janela de análise

A próxima análise diz respeito à influência da frase de bossa nova, na unidade de tempo e no compasso. Primeiramente é importante salientar que a questão da janela de tempo da análise envolve uma questão sutil e crucial: quando o músico executa (intuitivamente) as variações de microandamento e microdinâmica ele é influenciado pela noção de frase, que representa um dos elementos-chave da estrutura musical?

Analisando os gráficos de microandamento (Figura 6.5 e Figura 6.6), pode-se dizer que emergem padrões de variação do microandamento (na forma de um "M") tanto no intérprete 1 quanto no intérprete 2 (esses últimos mais sutis). Em outras palavras, as notas não são tocadas com igual micro desvios de tempo ou de

intensidade. Dependendo de onde a nota ocorre, ela terá micro desvios relativamente predefinidos e diferentes.

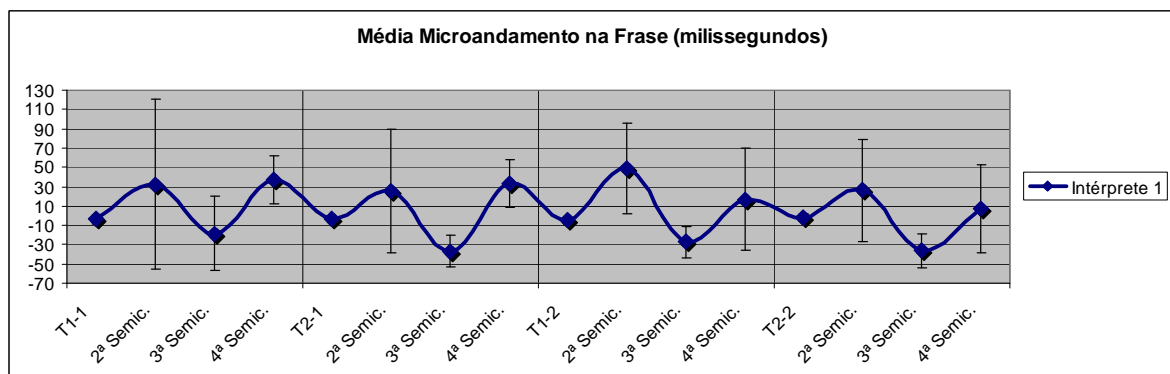


Figura 6.5 – Microandamento na Frase intérprete 1 (milissegundos)

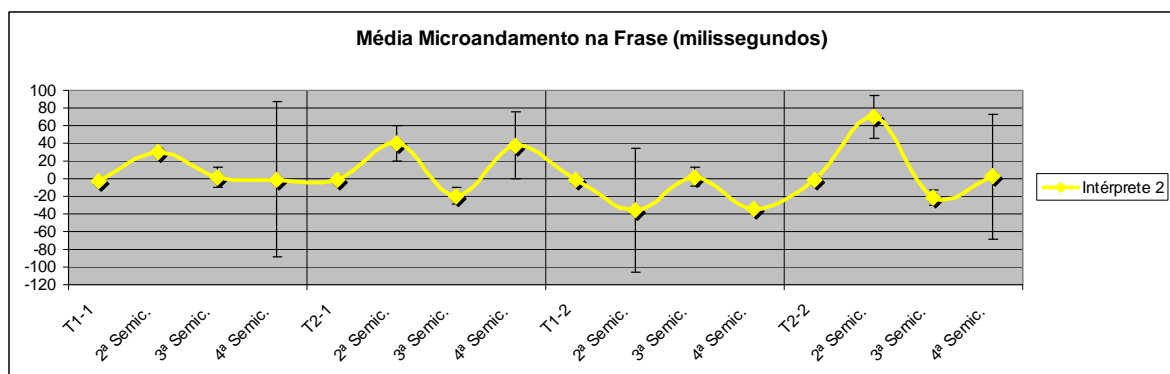


Figura 6.6 – Microandamento na Frase intérprete 2 (milissegundos)

Já na análise de microdinâmica (Figura 6.7 e Figura 6.8), também pode-se dizer que emergem padrões em ambos os casos, entretanto, esses padrões são mais complexos que os padrões anteriores. Ou seja, eles não possuem uma forma clássica (por exemplo, o formato de "M" visto na análise de microandamento).

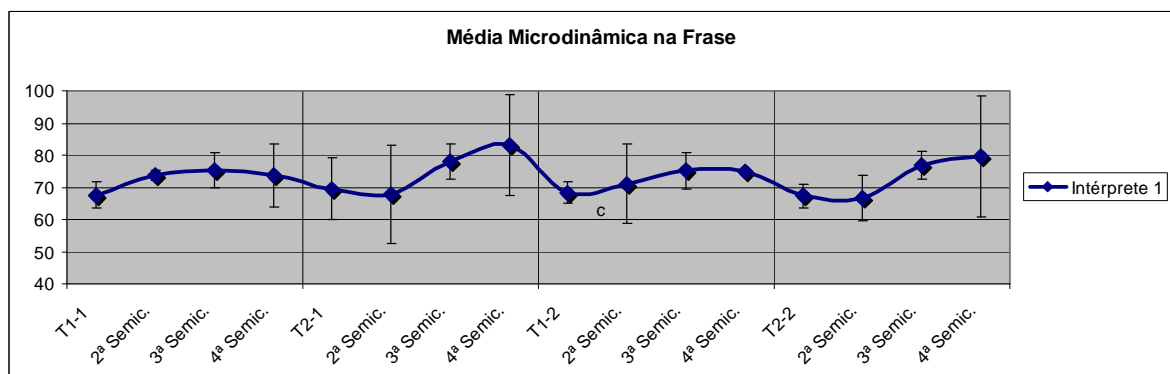


Figura 6.7 – Microdinâmica na Frase intérprete 1 (milissegundos)

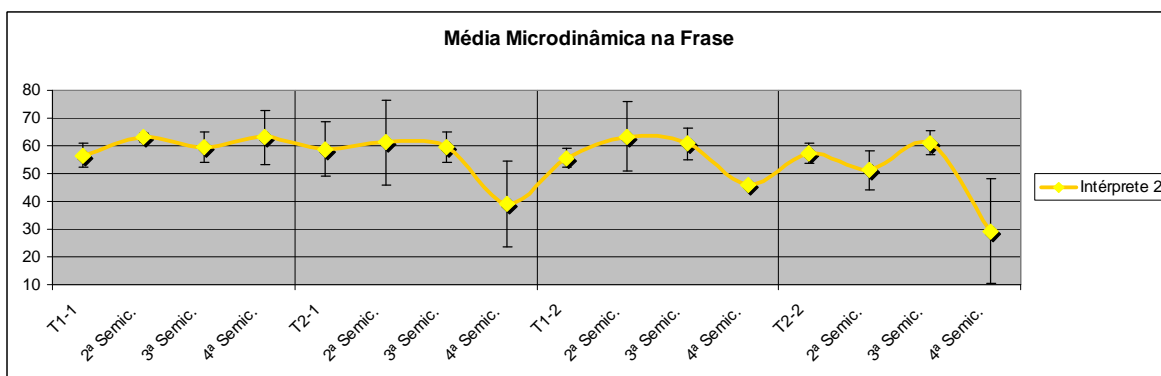


Figura 6.8 – Microdinâmica na Frase intérprete 2 (milissegundos)

Ao observar cada tempo individualmente, os gráficos anteriores apresentam diferenças relevantes entre esses tempos, portanto uma análise baseada na unidade de tempo ou compasso poderá não detectar padrões de microandamento e microdinâmica que são claramente apresentados numa frase. Esses padrões notados na frase levam a crer que, mesmo de forma inconsciente, o intérprete “pensa” a música como uma frase. Portanto conclui-se ser a frase a melhor janela de análise, respondendo a questão (2).

### 6.3 Análise intérprete 1 x intérprete 2

Outro tipo de análise realizada foi a confrontação de microandamento e microdinâmica no interior das frases, dos compasso e dos tempos de cada intérprete.

Os resultados obtidos nas três análises comprovam que existe uma enorme diferença na maneira de tocar de cada músico, independente da janela de tempo analisada (frase, compasso, unidade de tempo). As Figuras 6.9 e 6.10 ilustram para cada intérprete a análise da média das frases de microdinâmica e microandamento respectivamente.

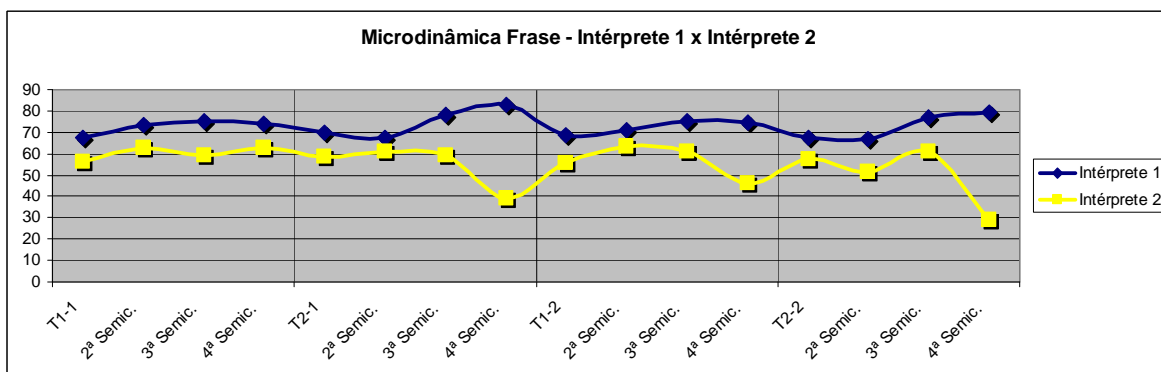


Figura 6.9 – Microdinâmica na Frase – Intérprete 1 x Intérprete 2

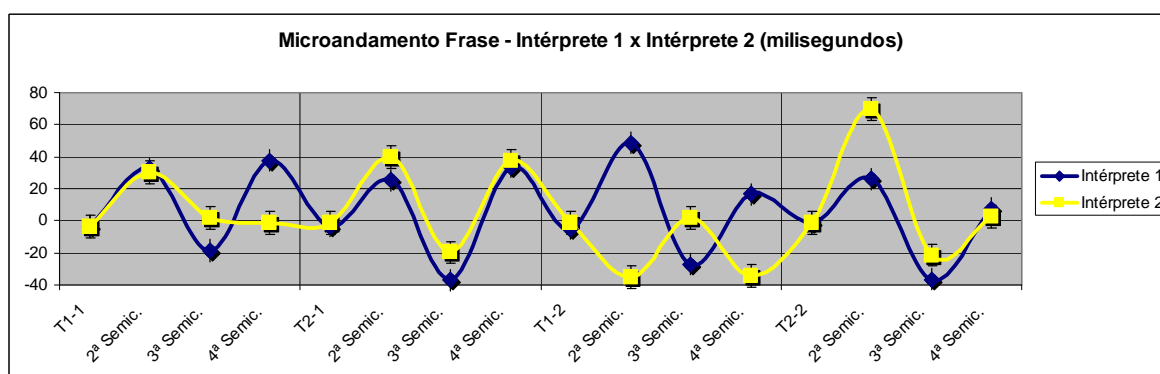


Figura 6.10 – Microandamento na Frase – Intérprete 1 x Intérprete 2

Observa-se que tanto os padrões de microandamento como de microdinâmica são completamente diferentes quando observados nas frases e tocados por intérpretes diferentes, respondendo a questão (3) do início deste capítulo.

#### 6.4 Análise dos padrões rítmicos

Para efeito dos experimentos relativos à análise dos padrões rítmicos, criou-se um conjunto de dezoito padrões, com uma média de quatro ocorrências (repetição do trecho na própria canção ou em canções diferentes) por padrão. Desse conjunto foram selecionados três padrões que juntos com as análises feitas nas frases possibilitaram levantar as seguintes situações: há diferença nas ocorrências de um mesmo padrão em canções distintas? (b) os padrões sofrem influência da frase?

Para efeitos de demonstração os padrões trabalhados estão descritos na [Tabela 6.1](#). A escolha desses padrões foi feita baseado no número de ocorrência dos mesmos bem como na quantidade de canções que os mesmos ocorrem. Dessa forma, foram cobertas todas as análises citadas anteriormente.

Identificação	Padrão	Canções	Número de ocorrências
P1	I-B-p-+---A---P---A---P---B-p-+-I-	A felicidade	2
		Desafinado	3
		Tarde em Itapuã	2
P2	I-B---P---B-p-+---A---P---B-p-+-I-	A felicidade	1
		Desafinado	2
		Samba de uma nota só	1
		Tarde em Itapuã	1
P3	A---P---B-p-+---A---P---B-p-+-I-	A Felicidade	1
		Desafinado	1
		Garota de Ipanema	1
		Insensatez	1
		Tarde em Itapuã	1

Tabela 6.1 – Ocorrências dos padrões analisados

## 6.5 Ocorrências do mesmo padrão rítmico

As Figuras 6.11 e 6.12 representam as médias de todas as ocorrências de um padrão nas canções estudadas para um dado intérprete. Observa-se na Figura 6.11, que as ocorrências do primeiro padrão, o qual será chamado P1, são praticamente idênticas.

A Figura 6.12 que representa outro padrão rítmico (chamado P2) tocado em quatro músicas distintas reforça a afirmação anterior que o padrão rítmico apesar de observado em canções distintas apresenta os mesmos padrões de microdinâmica.

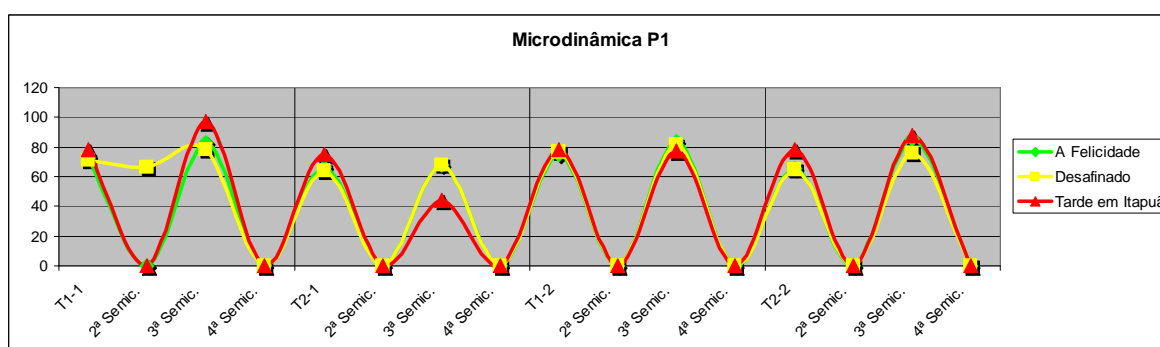


Figura 6.11 – Padrão rítmico de microdinâmica nas canções: A Felicidade, Desafinado, Tarde em Itapuã

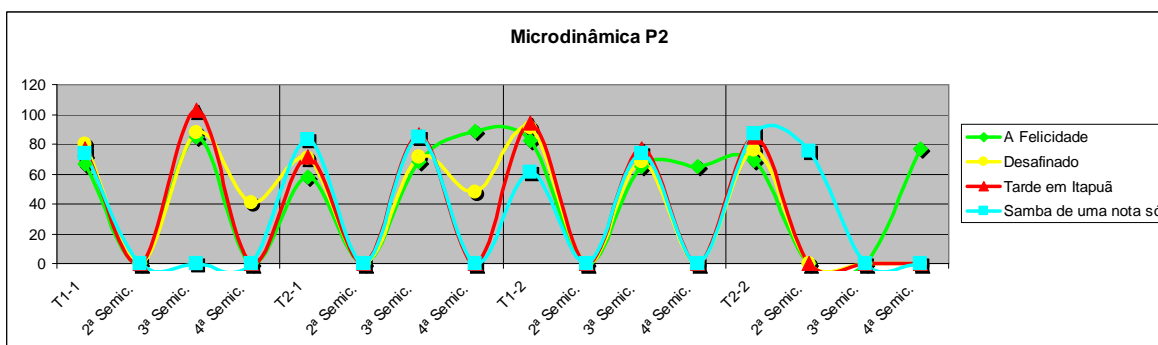


Figura 6.12 – Padrão rítmico de microdinâmica nas canções: A Felicidade, Desafinado, Samba de Uma Nota Só, Tarde em Itapuã

Na análise de microandamento tem-se uma grande semelhança na curvatura dos dados da Figura 6.13, o que nos leva a supor que o intérprete teve a intenção de tentar tocar os padrões rítmicos da mesma maneira nas músicas, no entanto, por algum fator que precisa ser melhor analisado, ocorreram algumas pequenas variações de milissegundos.

A Figura 6.14 exibe outro padrão rítmico, onde confirmando a suposição anterior, observa-se que em 10 dos 16 pontos analisados, o intérprete toca praticamente com as mesmas variações de antecipações e atrasos.

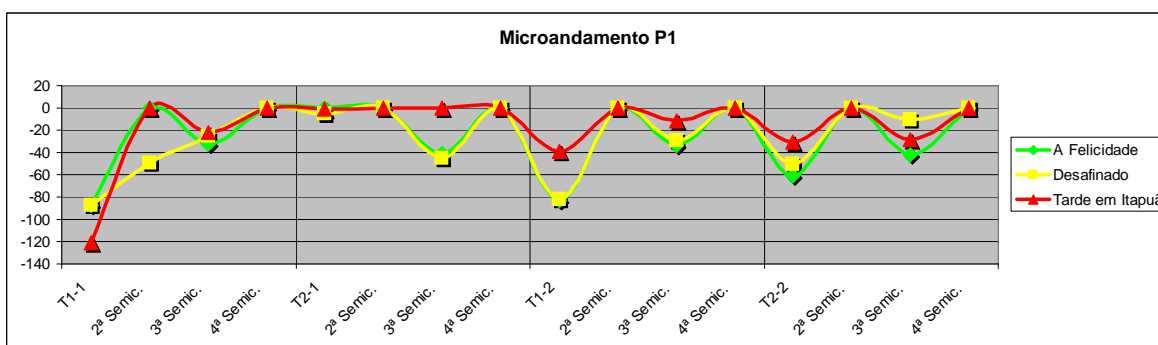


Figura 6.13 – Padrão rítmico de microandamento nas canções: A Felicidade, Desafinado, Tarde em Itapuã

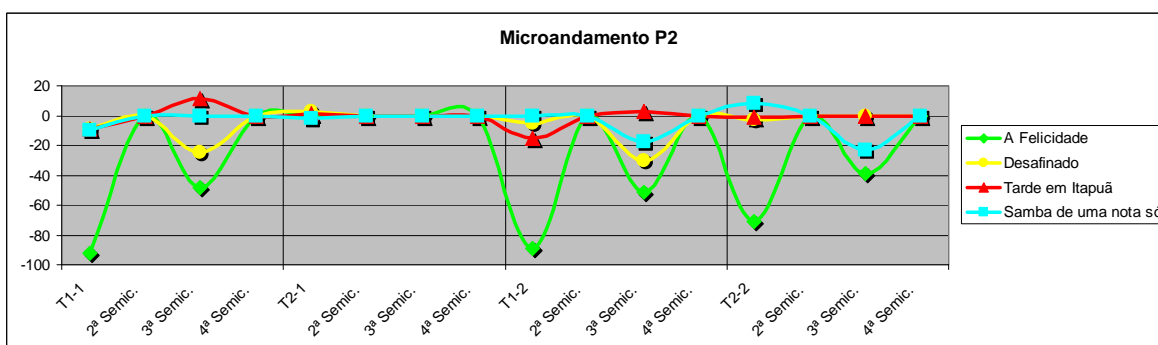


Figura 6.14 - Padrão Microandamento nas canções (A Felicidade, Desafinado, Samba de Uma Nota Só, Tarde em Itapuã)

Com relação à ocorrência dos padrões de microandamento e microdinâmica em músicas distintas ressalta-se que o intérprete na maioria dos casos executou o padrão de forma bastante semelhante. No entanto, se faz necessária uma análise mais aprofundada com o intuito de tentar identificar o motivo das variações observadas.

## 6.6 Padrões rítmicos x frase

Ao confrontar três padrões rítmicos com a frase (Figura 6.15) surgem enormes diferenças de microdinâmica entre a análise feita no padrão e a análise feita na frase. Por exemplo, em varias ocasiões em que notas não são tocadas nos padrões, têm-se, no mesmo instante, notas tocadas na frase.

Esse comportamento é observado na Figura 6.16, a qual confronta os micro desvios de tempo da frase com os padrões rítmicos.

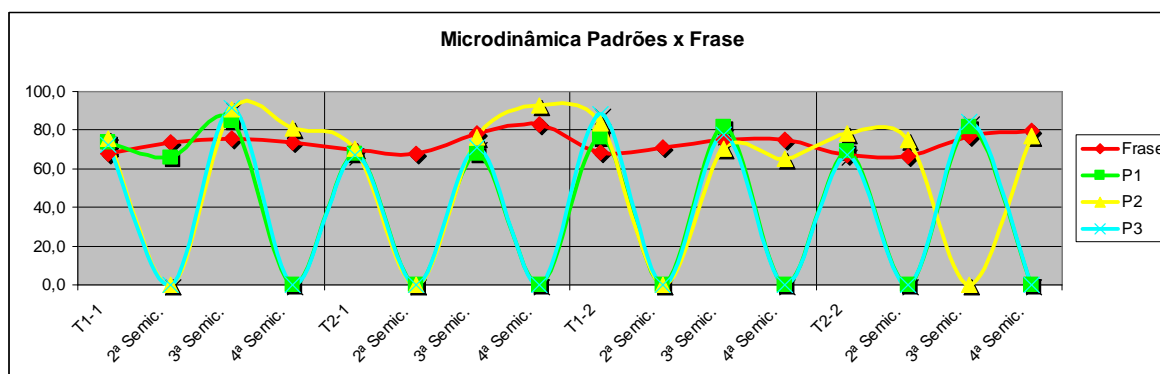


Figura 6.15 - Microdinâmica - Padrão P1, P2, P3 x Frase

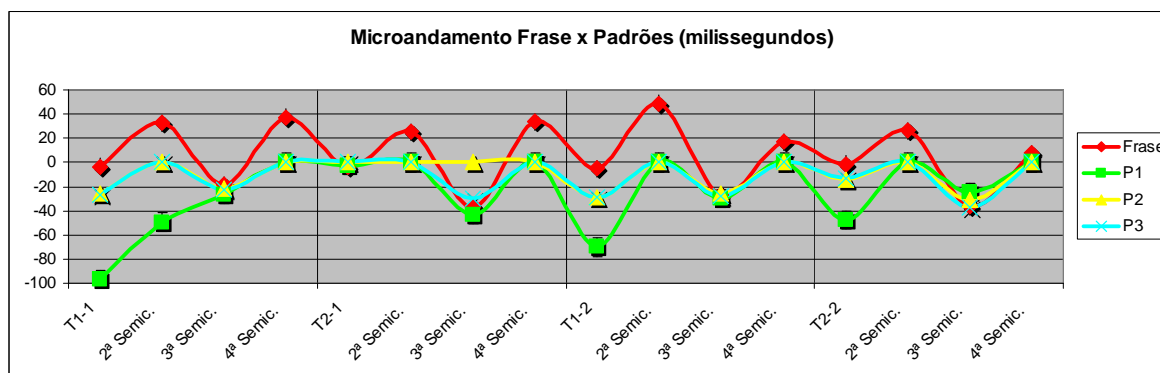


Figura 6.16 - Microandamento - Padrão P1, P2, P3 x Frase

Sendo assim, pode-se inferir que os dados que não são considerados como padrões exercem uma influência no comportamento da frase. Essa influência faz com que a frase possua um comportamento totalmente diferente das ocorrências dos demais padrões (os quais possuem um comportamento semelhante).

## 6.7 Microandamento x Andamento (BPM)

Por fim, serão analisados se os padrões de microandamento são influenciados pelo andamento da canção. Em outras palavras, será que uma canção executada de forma mais rápida possui maiores atrasos e antecipações? Ou será que o andamento não influencia os padrões de microandamento?

Para uma melhor análise resolveu-se trabalhar com os valores médios absolutos de microandamento. O andamento da canção é expresso em *bpm*<sup>3</sup>.

Sendo assim, chegou-se as seguintes figuras:

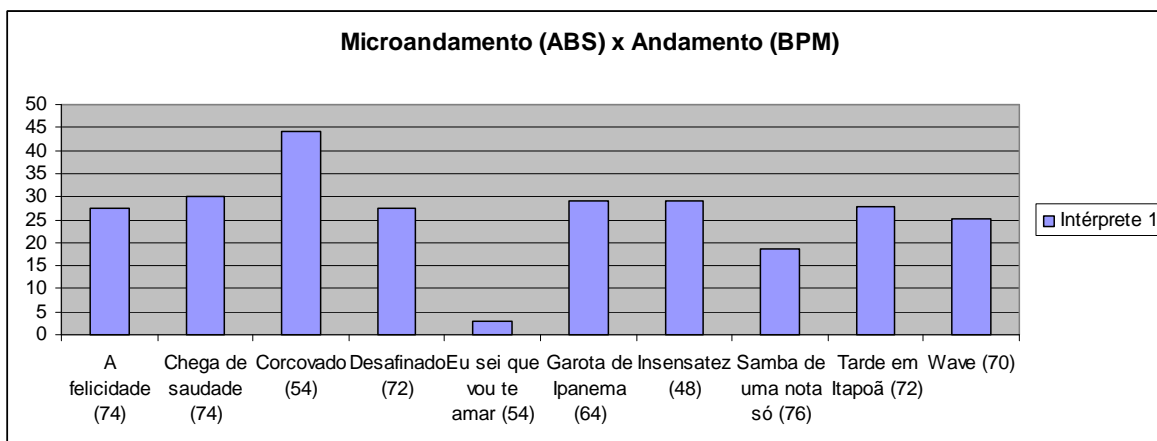


Figura 6.17 - Microandamento x Andamento (Intérprete 1)

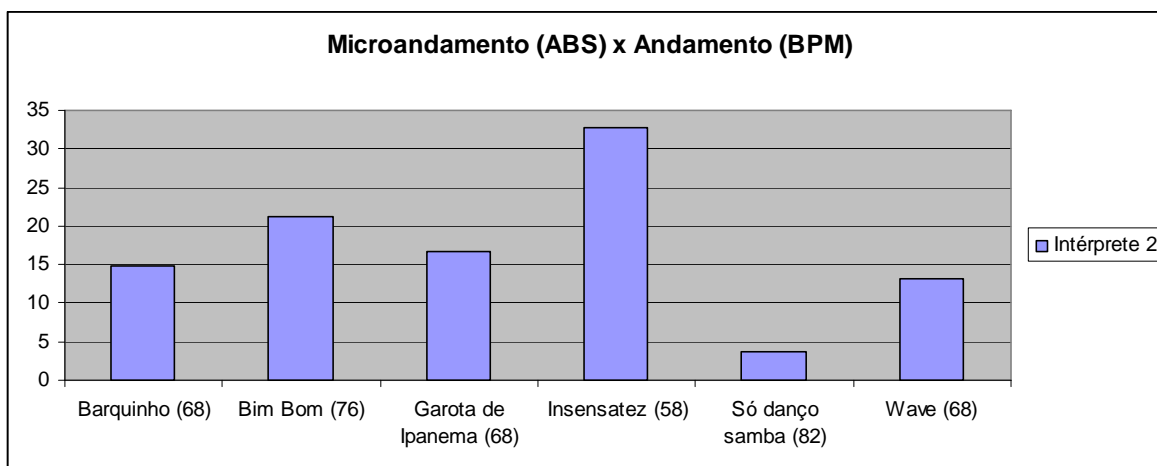


Figura 6.18 - Microandamento x Andamento (Intérprete 2)

Analisando as figuras anteriores ([Figura 6.17](#) e [Figura 6.18](#)), conclui-se que não há evidências estatísticas que indicam que o andamento da canção influencia

<sup>3</sup> **BPM.** (Beats per minute) é uma unidade tipicamente usada como uma medida de tempo na música. Uma taxa de 60 BPM significa que uma semínima deve ocorrer a cada segundo.



os padrões de microandamento. Foram encontradas algumas situações que podem comprovar essa afirmação, por exemplo, canções com mesmo BPM, mas com diferentes padrões de microandamento, canções com diferentes BPM, mas padrões de microandamento semelhantes, bem como, canções lentas com grandes desvios de microandamento e canções rápidas com baixo desvio de microandamento.

Neste capítulo foram apresentados os experimentos realizados, os quais procuraram responder os questionamentos feitos no início do capítulo. Comprovou-se a existência dos padrões de microandamento e microdinâmica e foi confirmado que a frase é melhor janela de análise. Também se observou que músicos diferentes apresentam padrões de microdinâmica e microandamento diferentes entre si e esses padrões quando tocados em músicas diferentes tendem a ter uma alta similaridade. Por fim, foi verificado que os padrões de microandamento e microdinâmica não são influenciados pelo andamento da canção.

## 7 Conclusão e trabalhos futuros

Neste trabalho foi apresentada uma análise inédita sobre a abordagem violonística da bossa nova, focado em micro variações de intensidade e micro variações de tempo chamadas respectivamente de microdinâmica e microandamento. Essas duas variações são importantes, pois estão intimamente relacionadas à expressividade musical, que no caso do violão brasileiro é comumente associada a adjetivos como “molho”, “levada”, “groove”, “suingue”.

Numa primeira etapa, os experimentos mostraram que em ambos os intérpretes estudados, independentemente da janela de análise adotada, emergem padrões de variação tanto do microandamento quanto da microdinâmica. Particularmente no microandamento, aparecem curvas em forma de “M” indicando um “sobe e desce” ou “vai e vem” na maneira de desviar-se no tempo, alternando entre “ahead the beat” e “behind the beat”. É um padrão curioso, já que no jazz normalmente a tendência é estar majoritariamente “behind the beat”. Esse resultado, apesar de necessitar uma confirmação analisando um maior número de intérpretes, já representa um indício de um novo conhecimento para o violão de bossa.

Também foi confirmado que existe uma diferença nos padrões de microandamento e microdinâmica dos dois intérpretes, ou seja, diferentes intérpretes possuem diferentes padrões de microandamento e microdinâmica, e, que essa influência independe da janela de tempo.

Quanto à questão da janela de análise, nos casos analisados, ficou clara a influência da noção de frase nas variações de microdinâmica. No caso do microandamento, a influência mostrou-se mais discreta no primeiro intérprete, porém bastante significativa no segundo. De forma geral, os experimentos reforçam a hipótese de que as variações de microandamento e microdinâmica dentro de uma frase não são as mesmas quando usada uma janela de análise com nível de granularidade menor (unidade de tempo e compasso). No entanto, uma conclusão definitiva sobre a questão também vai depender da realização da captura e análise de outros intérpretes.

Se essa influência for confirmada, será uma grande novidade não só pelo que isso representa em termos de conhecimento etnomusicológico do violão de bossa, mas por representar outro paradigma de análise. De fato, a literatura que estuda microandamento e microdinâmica costuma trabalhar com uma janela de análise de uma unidade de tempo, desconsiderando a dimensão estrutural da música, formada pelas frases, sessões, etc.

Por último foi verificado que o andamento não está relacionado aos padrões de microandamento. Observou-se que canções com o mesmo andamento possuíam padrões de microandamento bastante diferentes, assim como canções com andamentos diferentes tinham padrão de microandamento bastante semelhantes.

Como trabalhos futuros são sugeridos a análise de outros intérpretes, bem como, o estudo de microandamento e microdinâmica em outros estilos de música brasileira. Também podem ser analisadas as diferenças perceptuais encontradas, pois foi visto que elas são estatisticamente relevantes, mas será que são facilmente perceptíveis?

Há a possibilidade de análise dos “não padrões” existentes numa canção e como eles interferem no comportamento geral da frase, diferenciando suas características das características dos padrões.

A criação de uma ferramenta, que a partir das informações de microandamento e microdinâmica extraídas de uma canção crie um padrão automaticamente poderá demonstrar na prática o resultado desta pesquisa.

Também não pode ser esquecido que seria muito interessante o desenvolvimento de uma ferramenta que tratasse arquivos de áudio da mesma maneira que os arquivos MIDI foram tratados, dessa forma as características de microandamento e microdinâmica, entre outras, poderiam ser extraídas diretamente desses arquivos facilitando análises futuras.

Conforme foi observado, existe muito a se fazer até que o objetivo do projeto “Um país um violão” seja totalmente cumprido. No entanto, acredita-se que este trabalho tenha cumprido a sua parte e contribuído de forma significativa com a ampliação do projeto deixando a semente plantada para que outros possam levar adiante os estudos que aqui foram apenas iniciados.

## Referências Bibliográficas

- BENGTSSON, I.; GABRIELSSON, A. *Analysis and synthesis of musical rhythm*. See Sundberg 1983, pp. 27–60, 1983
- BLOOD, A. J.; ZATTORE, R. J.; BERMUDEZ, P.; EVANS, A. C. *Emotional responses to pleasant and unpleasant music correlate with activity in paralimbic brain regions*. *Nature Neuroscience*, v. 2, n. 4, 382–387, 1999.
- BILMES, J. *Timing is of the Essence: Perceptual and Computational Techniques for Representing, Learning, and Reproducing Expressive Timing in Percussive Rhythm*. Master Thesis, MIT, Cambridge. 1993
- BINET, A.; COURTIER, J. *Recherches Graphiques sur la Musique*. *L'Année Psychologique*, n.2, p.201–222, 1895.
- CANAZZA, S.; DE POLI, G.; VIDOLIN, A. *Perceptual Analysis of the Musical Expressive Intention in a Clarinet Performance*. In: M. Leman (Ed.). *Music, Gestalt and Computing: Studies in Cognitive and Systematic Musicology*. Berlin-Heidelberg: Springer Verlag, p.441–450, 1997.
- CAROLINE, P. *Timing in Skilled Music Performance*. PhD thesis, Cornell University, 1989.
- CLARKE, E. F. *Imitating and Evaluating Real and Transformed Musical Performances*. *Music Perception*, n.10, p.317–341, 1993.
- CLYNES, M. *Microstructural Musical Linguistics: Composer's Pulses are Liked by the Best Musicians*. *Cognition*, v.55, p.269–310, 1995.
- DIXON, S. *Automatic extraction of tempo and beat from expressive Performances*. *Journal of New Music Research*, 30(1):39–58. 2001.
- EBHARDT, K. *Zwei Beiträge zur Psychologie des Rhythmus und des Tempos*. *Zeitschrift für Psychologie und Physiologie des Sinnesorgane* n.18, p.99–154, 1898.
- FREEMAN, P.; LACEY, L. *Swing and groove: Contextual rhythmic nuance in live performance*. Paper presented at the 7<sup>th</sup> International Conference on Music Perception and Cognition, Sydney, 2002.
- FIGUEIRA, C. *JEOPS: Integração entre Objetos e Regras de Produção em Java*. *Dissertação de Mestrado*. Universidade Federal de Pernambuco. 2000.
- FRIBERG, A.; SUNDSTRÖM, J. *Swing ratios and ensemble timing in jazz performances: Evidence for a common rhythmic pattern*. *Music Perception*, 19(3):333–349, 2002.
- FRIBERG, A.; SCHOONDERWALDT, E.; JUSLIN, P. N.; BRESIN, R. *Automatic Real-Time extraction of Musical Expression*.
- GABRIELSSON A. *Once again: the theme from Mozart's piano Sonata in A Major* (k.331). See Gabrielsson 1987b, pp. 81–104, 1987a.

- GABRIELSSON, A.; JUSLIN, P. N. *Emotional Expression in Music Performance: Between the Performer's Intention and the Listener's Experience*. Psychology of Music, v.24 n.1, p.68-91, 1996.
- GABRIELSSON, A. *Music Performance*. In: D. Deutsch (Ed.). Psychology of music. New York: Academic Press, p.506-602, 1999.
- GOEBL, W.; PAMPALK, E.; WIDMER, G. *Exploring Expressive Performance Trajectories: Famous Pianists Play Six Chopin Peices*. 8<sup>th</sup> International Conference on Music Perception and Cognition (ICMPC'04), Evanston, Illinois. p., 2004
- GOUYON, F. Microtiming in Samba de Roda — Preliminary experiments with polyphonic audio, 2007
- GUNTHER, S. Book: "The Complete Conductor".
- HENDERSON, M.T. *Rhythmic organization in artistic piano performance*. See CE Seashore 1936, pp. 281-305, 1936.
- HIGUCHI, M. K. K.; LEITE, J. P. *Rigidez métrica e expressividade na interpretação musical: uma teoria neuropsicológica*. LA, 2006.
- JUNIOR, R. C. S. N. *Extração de informação simbólica de áudio: Algoritmos de reconhecimento de onsets*. Relatório Técnico. Trabalho de Conclusão de Curso, 2006.
- JUSLIN, P. *Emotional communication in music performance: a functionalist perspective and some data*. Music Perception, v. 14, n. 4, p. 383-418, 1997.
- JUSLIN, P. *Communicating emotion in music performance: a review and theoretical Framework*. In: JUSLIN, Patrik; SLOBODA, John (ed.). Music and Emotion: theory and research. Oxford; New York: Oxford University Press, 2005.
- MCGUINESS, A. *Do discontinuous temporal windows in metrical music point to open-loop motor control? A musicological and cross-cultural analysis of rhythmic timing planning*.
- PALMER, C. *Mapping Musical Thought to Musical Performance*. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, v.15 n.12, p.331-346, 1989.
- PALMER, C. *Music Performance*. Annual Review of Psychology. V.48, p. 115-138, 1997.
- REPP, B.H. Diversity and Commonality in Music Performance – An Analysis of Timing Microstructure in Schumann.s Traumerei. Journal of the Acoustical Society of America, v.92 n.5, p 2546-2568, 1992

- SANDRONI, C. Feitiço Decente: Transformações do Samba no Rio de Janeiro(1917-1933). Rio de Janeiro: Zahar, 2001. 247 p.
- SCHINDLER, A. F. Beethoven as I knew him. Londres: Faber and Faber, 1966.
- SEARS, C. H. A Contribution to the Psychology of Rythm. American Journal of Psychology, n.13, p.28-61, 1902.
- SEASHORE, C.E. Psychology of Music. New York: McGraw-Hill. Reprinted 1967 by Dover Publications, New York, 1938.
- SENJU, M.; OHGUSHI, K. How are the Player's Ideas Conveyed to the Audience? Music Perception, v.4, p.311-324, 1987.
- SHAFFER, L.H.; TODD, N.P. The interpretive component in musical performance. See Gabrielsson 1987b, pp. 139-52, 1987.
- SCHOLZ, R. E. – Cochonut: Um Processo para Reconhecimento de Acordes em Sequências Capturadas por Violões MIDI, 2008
- SLOBODA, J.A. Expressive Skill in Two Pianists, Canadian Journal of Psychology, v.39, p.273-293, 1984.
- SUNDBERG, J.; VERRILLO, V. On the Anatomy of the Ritard: A Study of Timing in Music. Journal of the Acoustical Society of America, v.68, p.772-779, 1980.
- SUNDBERG, J.; FRIBERG, A.; FRYDEN, Common Secrets of Musicians and Listeners: An analysis-by-synthesis Study of Musical Performance. In: P. Howell, R. West, et al (Ed.) Representing Musical Structure. London: Academic Press, p. 161-197, 1991a.
- TODD, N. P. M. A Model of Expressive Timing in Tonal Music. Music Perception, v.3, p.33- 58,1985.
- TODD, N. P. M. The Kinematics of Musical Expression. Journal of the Acoustical Society of America, v.91, p.1940-1949, 1995.
- TRAJANO, E. L. Descoberta Automática de Conhecimento em Interpretações Musicais: O Caso do Acompanhamento Rítmico ao Violão, 2007.
- WIDMER, G. Using AI and Machine Llearning to Study Expressive Music Performance: Project Survey and First Report AI Comm. 14(3) (2001), pp. 149-162.
- WIDMER G.; DIXON, S.; GOEBL, W.; PAMPALK, E.; TOBUDIC,A. In Search of the Horowitz Factor. AI Magazine, v. 24, p. 111-130, 2003
- WRIGHT, M.; BERDAHL, E. Towards machine learning of expressive Microtiming in brazilian drumming. Em Proceedings of the 2006 International Computer Music Conference, pp. 572-575, New Orleans, LA, 2006.

ZANON, O.; WIDMER, G. *Learning to Recognize Famous Pianists with Machine Learning Techniques*. In: (Ed.). Proceedings SMAC 03. Stockholm, Sweden. p. 581-584, 2003.