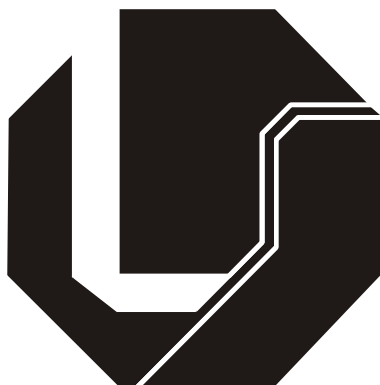


UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



**Um Sistema para Transposição
Automática de Sequências MIDI baseada
em Alcance Vocal**

Sandra Fernandes de Oliveira Lima

Fevereiro
2006

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Um Sistema para Transposição Automática de Seqüências MIDI baseada em Alcance Vocal

Sandra Fernandes de Oliveira Lima*

Texto da dissertação apresentada à
Universidade Federal de Uberlândia,
perante a banca de examinadores abaixo,
como parte dos requisitos necessários para
a obtenção do título de Mestre em
Ciências. Aprovada em 22 de fevereiro de
2006.

Banca Examinadora:

Prof. Adriano Alves Pereira, Dr. - Orientador (UFU)

Prof. Alcimar Barbosa Soares, PhD (UFU)

Prof. Alessandro Barros Wellesley, Dr. (UEMG)

Prof. Keije Yamanaka, PhD (UFU)

* A bolsa de estudo para esta pesquisa foi concedida pela CAPES, Brasil.

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pelo Sistema de Bibliotecas da UFU / Setor de Catalogação e Classificação

L732s Lima, Sandra Fernandes de Oliveira.
Um sistema para transposição automática de seqüências MIDI baseada em alcance vocal / Sandra Fernandes de Oliveira Lima. - Uberlândia, 2005.
233f. : il.
Orientador: Adriano Alves Pereira.
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.
Inclui bibliografia.
1. Engenharia elétrica - Teses. 2. Sistema MIDI - Teses. I. Pereira, Adriano Alves. II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. III. Título.

CDU:621.3

Um Sistema para Transposição Automática de Seqüências MIDI baseada em Alcance Vocal

Sandra Fernandes de Oliveira Lima*

Texto da dissertação apresentada à
Universidade Federal de Uberlândia, como
parte dos requisitos para a obtenção do
título de Mestre em Ciências.

Prof. Adriano Alves Pereira, Dr.
Orientador

Prof. Darizon Alves de Andrade, Ph.D.
Coordenador do curso de Pós-Graduação

* A bolsa de estudo para esta pesquisa foi concedida pela CAPES, Brasil.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, Senhor de todas as coisas, detentor de todo o meu conhecimento, de todas as minhas certezas e ideais. Sem Ele nada seria possível.

Agradeço ao meu marido Luciano, meu amor, meu companheiro, meu suporte, meu amigo. Tudo fez para que esse trabalho se concretizasse e esteve sempre ao meu lado nos meus momentos de mau-humor. Você é minha luz, não se esqueça. Eu não me esquecerei de tudo o que fez e faz por mim.

Agradeço aos meus filhos, luzes do meu viver. Obrigado por me apoiarem e também por suportarem os meus momentos ruins. Vocês são pessoas especiais e ocupam um lugar enorme em meu coração.

Agradeço ao meu orientador Adriano, pessoa amiga, compreensiva, interessada e competente. Conviver com você, vale a pena!

Agradeço à minha grande amiga Priscilla: pessoa maravilhosa que me incentivou a cursar o mestrado e sempre esteve comigo em todos os momentos. Esquecer de você: Impossível!!!

Agradeço aos meus pais (Marcílio e Clarice) e irmãos (Viviana, Marlice, Eliane e Sérgio) que sempre estiveram ao meu lado e sempre acreditaram em mim.

Mamãe: pena você não estar mais aqui! Eu sei a admiração que você sempre teve pelo meu trabalho. Papai: que bom você estar aqui! Eu sei que você também sempre admirou os trabalhos que realizei.

Agradeço à minha segunda família: Júnia, Vinícius e Lucília pelo amor, dedicação e apoio que sempre me deram. Agradeço também a todos os meus sobrinhos: Vocês são muito importantes para mim.

Agradeço de uma maneira especial ao Hécio. Você sempre foi um amigo! Não tenho palavras. Você fez muito por mim.

Agradeço à Lena, à Lolô, à Bel, à Cida, à Andréia. Grandes amigas!!! Obrigada pelo apoio!

Agradeço à Priscila pela sua amizade e pelos desenhos que ilustraram maravilhosamente esta dissertação.

Agradeço enfim, a todos os meus companheiros de laboratório e a todos que estiveram ao meu lado.

Agradeço à Marly. Você é um anjo!

Resumo

LIMA, Sandra Fernandes de Oliveira. **Um Sistema para Transposição Automática de Seqüências MIDI baseada em Alcance Vocal**. Uberlândia: FEELT-UFU, 2006. 233 p.

Este trabalho apresenta uma solução para se transpor seqüências musicais MIDI codificadas em SMF (Standard MIDI Files) em formato 0 ou formato 1, de uma forma automática, aplicada em todas as trilhas e canais MIDI da música, preservando a formatação e conteúdos registrados nos arquivos originais. Esta transposição é baseada em um range vocal explicitado pelo cantor e pela escolha do canal MIDI na qual está registrada a melodia que se deseja cantar. Como fruto desta pesquisa, gerou-se um aplicativo denominado de BestVocal, o qual, além de possuir esta ferramenta de transposição baseada em range vocal de conforto do cantor, possui, também, várias ferramentas adicionais. Dentre elas pode-se citar: uma ferramenta para eliminar pausas iniciais do arquivo MIDI, outra para visualizar os instrumentos e respectivos ranges, outra para salvar e imprimir a letra da música existente no arquivo e outra para modificar (substituir) os instrumentos MIDI de qualquer canal ou trilha da seqüência. Este trabalho apresenta, também, ganhos na preservação da saúde do cantor no tocante ao seu aparelho fonador, já que, cantando apenas na sua região de conforto, o mesmo evitará calos (nódulos), pólipos e outras doenças oriundas do esforço inadequado de suas pregas (cordas) vocais. Um outro ganho obtido pelo cantor, com tal sistema, reside no fato de que cantando apenas em regiões onde sua voz possui boas características timbrais, evita-se, assim, que o mesmo desafine ou que não consiga emitir algumas

notas da seqüência, o que manterá sua credibilidade como profissional do canto (para seu público alvo).

Palavras-chave: MIDI, SMF, transposição, desafinar, range vocal, range vocal de conforto, tessitura, classificação vocal, aparelho fonador, pregas vocais, timbre.

Abstract

LIMA, Sandra Fernandes de Oliveira. **An Autonomus MIDI Sequences Transposition System driven by Vocal Comfort Zone**. Uberlândia: FEELT-UFU, 2006. 233 p.

The author of this work presents a solution to transpose MIDI musical sequences codified in SMF (Standard MIDI File) in format 0 or format 1. This transposition is accomplished automatically, being applied in all the tracks and music MIDI channels. This computational tool preserves the format and contents registered in the original files. This transposition is based on the singer vocal range (comfort zone) and by the choice of the melody MIDI channel that he wants to sing. As a result of this research, an application named BestVocal was created, by incorporate the transposition tool based in the comfort vocal range of the singer and incorporate a tool to eliminate pauses of the MIDI file too. Another inclusion is given by a tool that allows it to visualize, save and print the existent lyric of the present file. The Best Vocal allows the user to modify the MIDI instruments of any channel too. Using these computational tools, the singer will avoid having nodules, polyps and other diseases originating from the inadequate effort of his vocal fold. Another earning obtained by the singer, with such system, resides in the fact that singing only in the vocal range where your voice sounds good, will avoid, to him, sing out of tune, avoiding, too, muting notes out of your vocal range. So, he will maintain his credibility as a good professional to his audience.

Key-words: MIDI, SMF, transposition, vocal range, comfort zone, vocal type, phonetics system, vocal fold, tone, out of key, pitch, untuned.

Publicações

Durante o desenvolvimento dos trabalhos, momento este antecedente o ingresso definitivo no programa de mestrado como aluna regular, participei do mesmo como aluna em disciplina isolada e aluna especial, tendo tido a oportunidade de participar de várias pesquisas na FEELT, de onde surgiram alguns frutos do trabalho científico em que atuei, bem como algumas publicações técnicas, principalmente em uma área que despertou bastante meu interesse: a computação musical. Segue abaixo uma lista de algumas das publicações, onde não foram citados os CDROMS multimídia interativos aplicados à educação, os artigos anteriores a 2003, os últimos 19 artigos publicados em revista internacional nível C CAPES e os softwares desenvolvidos paralelamente com este trabalho de mestrado.

LIVROS

1. LIMA, Luciano Vieira; LIMA, Sandra Fernandes de Oliveira; MACHADO, André Campos; PINTO, Marília Mazzaro. **Computação Musical - Arranjo Automático, Conversão de CD em MIDI e MIDI em Áudio Utilizando o Band-in-a-Box 12.0a, Virtual Sound Canvas 3.23 e Akoff Music Composer 2.0**. 1ª. ed. São Paulo: Editora Érica Ltda, 2004.
2. LIMA, Luciano Vieira; LIMA, Sandra Fernandes de Oliveira; MACHADO, André Campos; PINTO, Marília Mazzaro. **Computação Musical - Sound Forge 8.0 - Gravação ao Vivo, Restauração de Sons de LPs e Masterização Áudio Digital**. 1ª. ed. São Paulo: Editora Érica Ltda, 2005.
3. LIMA, Sandra Fernandes de Oliveira; LIMA, Luciano Vieira; MACHADO, André Campos. **Sound Forge 6.0 - Restauração de LPs e Gravação de CDs**. São Paulo: Editora Érica Ltda, [2003 ou 2004].

Trabalhos completos em congressos e eventos

1. LIMA, Sandra Fernandes de Oliveira; RUFINO, Hugo Leonardo Pereira; LOPES, Guilherme Francisco; GOULART, Reane Franco; LIMA, Luciano Vieira. **MATEMÁTICA APLICADA À DETECÇÃO DE TESSITURA VOCAL E À TRANSPOSIÇÃO AUTOMÁTICA DE MÚSICAS EM ARQUIVOS MIDI PADRÃO.** In: CONGRESSO NACIONAL DE MATEMÁTICA APLICADA E COMPUTACIONAL, São José do Rio Preto, v. 1, p. 10-17.
2. LIMA, Sandra Fernandes de Oliveira; LIMA, Luciano Vieira; LOPES, Guilherme Francisco; NAKAMOTO, Paula Teixeira; RUFFINO, Hugo Leonardo Pereira. **PROCESSAMENTO DIGITAL DE SINAIS E TÉCNICAS DE COMPILADORES APLICADAS AO RECONHECIMENTO DE TESSITURA VOCAL E TRANSPOSIÇÃO AUTOMÁTICA DE MÚSICA.** In: CEEL - CONFERÊNCIA DE ESTUDOS DE ENGENHARIA ELÉTRICA - UFU, Uberlândia. CEEL,v. 1, p. 10-16.
3. LIMA, Sandra F. O.; SILVA, Priscilla T. L.; LIMA, Luciano V.; PEREIRA, Adriano A. **COMPUTATION SYSTEMS APPLIED TO THE TEACHING OF MUSIC FOR THE DEFICIENT VISUAL AND CHILDREN BY USING NUMEROFONIA AND A NEW PROPOSED BRAILLE CODIFICATION.** to GCETE'2005.
4. LIMA, Sandra F. O.; LIMA, Luciano Vieira; SOUZA, Ana Paula Rodrigues; PEREIRA, Adriano Alves. **RECOGNITION OF VOCAL RANGE FOR AUTOMATIC TRANSPOSITION OF MUSIC APPLIED TO THE MUSICAL DOMAIN, HEALTH AND TEACHING** to GCETE'2005.

5. CAMARGO, Hécio Jr.; LIMA, Luciano Vieira; PINHEIRO Alan Petrônio; LIMA Sandra Fernandes de Oliveira; PEREIRA, Adriano Alves. **TÉCNICAS DE CONSTRUÇÃO DE COMPILADORES APLICADAS À MANIPULAÇÃO NÃO DESTRUTIVA DO PROTOCOLO MIDI PARA GERAÇÃO DE ARQUIVOS SMF MULTISEQUÊNCIAIS, COMPATÍVEIS COM OS FORMATOS GM, GS E XG, SEM A PERDA DA ESTRUTURA E EVENTOS INDIVIDUAIS ORIGINAIS - WCCSETE'2006**
6. LIMA, Sandra Fernandes de Oliveira; LIMA, Luciano Vieira Lima; SOARES, Alcimar Barbosa; PAIVA, LÍlian Ribeiro Mendes. **SISTEMA DE APOIO AO ENSINO E APRENDIZADO DE GEOMETRIA EUCLIDIANA E NUMERAÇÃO POSICIONAL UTILIZANDO TÉCNICAS DE PIAGET.** In: CEEL - CONFERÊNCIA DE ESTUDOS DE ENGENHARIA ELÉTRICA - UFU, Uberlândia. CEEL, v. 1, p. 20-27.
7. LIMA, Sandra Fernandes de Oliveira; LIMA, Luciano Vieira; CRUZ, Willer Alves da Silva; PEREIRA, Antônio Eduardo Costa. **DESENVOLVIMENTO DE ALGORITMOS DE ALTO DESEMPENHO PARA APLICAÇÕES EM INTERNET COMPILADAS UTILIZANDO A LINGUAGEM PLIANT.** In: SEMINÁRIO DE EDUCAÇÃO À DISTÂNCIA, Uberlândia, v. 1, p. 12-20.
8. CURY, Reny Filho; LIMA, Luciano Vieira; LIMA, Sandra Fernandes de Oliveira; MOURA, Éder Alves. **A PLATFORM OF HIGH PERFORMANCE FOR E-LEARNING IN COMPILED LANGUAGE PLIANT** to GCETE'2005.
9. LIMA, Luciano Vieira Lima; CAMARGO, Helcio Jr; LIMA, Sandra Fernandes de Oliveira; PEREIRA, Adriano Alves; PINHEIRO, Alan Petrônio. **A METHOD FOR PREPARING EXPERTS IN COMPUTER ENGINEERING SUBJECTS - WCCSETE'2006.**

Artigos completos publicados em revista internacional

1. LIMA, Sandra Fernandes de Oliveira; PEREIRA, Adriano Alves; LIMA, Luciano Vieira; MACHADO, André Campos. **BEST VOCAL 2004: DESAFINAR?...NUNCA MAIS. CONVERTA SUAS SEQUÊNCIAS MIDI DE ACORDO COM SEU ALCANCE VOCAL.** Playmusic, São Paulo, v.88, p. 7-10, ISSN/ISBN: 14151871.
2. LIMA, Sandra Fernandes de Oliveira; PEREIRA, Adriano Alves; LIMA, Luciano Vieira; MACHADO, André Campos. **DETERMINANDO SEU ALCANCE VOCAL DE CONFORTO E ADEQUANDO SUAS SEQUÊNCIAS MDI PARA ACOMPANHAR SEU GRUPO VOCAL – Parte I.** Playmusic, São Paulo, v.89, p. 14-17, ISSN/ISBN: 14151871.
3. LIMA, Sandra Fernandes de Oliveira; PEREIRA, Adriano Alves; LIMA, Luciano Vieira; MACHADO, André Campos. **DETERMINANDO SEU ALCANCE VOCAL DE CONFORTO E ADEQUANDO SUAS SEQUÊNCIAS MDI PARA ACOMPANHAR SEU GRUPO VOCAL – Parte II.** Playmusic, São Paulo, v.92, p. 8-11, ISSN/ISBN: 14151871.
4. LIMA, Sandra Fernandes de Oliveira; PEREIRA, Adriano Alves; LIMA, Luciano Vieira; MACHADO, André Campos. **DETERMINANDO SEU ALCANCE VOCAL DE CONFORTO E ADEQUANDO SUAS SEQUÊNCIAS MDI PARA ACOMPANHAR SEU GRUPO VOCAL – Parte II.** Playmusic, São Paulo, v.92, p. 8-11, ISSN/ISBN: 14151871.
5. LIMA, Sandra Fernandes de Oliveira; PEREIRA, Adriano Alves; LIMA, Luciano Vieira; MACHADO, André Campos. **ELIMINANDO PAUSAS INICIAIS E FINAL DE ARQUIVOS MIDI INSTANTANEAMENTE – BEST REST 2005.** Playmusic, São Paulo, v.90, p. 14-17, ISSN/ISBN: 14151871.

6. LIMA, Sandra Fernandes de Oliveira; PEREIRA, Adriano Alves; LIMA, Luciano Vieira; MACHADO, André Campos. **AFINANDO SUA VOZ AUTOMATICAMENTE DE ACORDO COM SUA SEQUÊNCIA MIDI E QUEIMANDO SEU CD DE ÁUDIO – BAND-IN-A-BOX**. Playmusic, São Paulo, v.91, p. 14-17, ISSN/ISBN: 14151871.
7. LIMA, Sandra Fernandes de Oliveira; LIMA, Luciano Vieira; MACHADO, André Campos; MENEZES, Carlos R.F. **SONAR 5: AS NOVIDADES**. Playmusic, São Paulo, v.97, p. 8-10, ISSN/ISBN: 14151871.
8. LIMA, Sandra Fernandes de Oliveira; LIMA, Luciano Vieira; CAMARGO, Hércio Jr.; PEREIRA, Adriano Alves; PINHEIRO, Alan Petrônio. **BEST MERGE 2005 – COLOQUE VÁRIAS MÚSICAS EM UM SÓ ARQUIVO MIDI – Parte II-** .Playmusic, São Paulo, v.96, p. 7-9, ISSN/ISBN: 14151871.
9. LIMA, Sandra Fernandes de Oliveira; LIMA, Luciano Vieira; PEREIRA, Adriano Alves; MACHADO, André Campos. **NO SYSEX 2005 – ELIMINANDO MENSAGENS EXCLUSIVS DE SISTEMA E ATIVANDO O MODO GM DE SEUS ARQUIVOS MIDI PROBLEMÁTICOS**. Playmusic, São Paulo, v.96, ISSN/ISBN: 14151871.
10. LIMA, Sandra Fernandes de Oliveira; LIMA, Luciano Vieira; VIEIRA, Júnia Helena; MACHADO, André Campos. **BAND-IN-A-BOX 12 - AS NOVIDADES DA NOVA VERSÃO**. Playmusic, São Paulo, v.63, p. 7-9, ISSN/ISBN: 14151871.
11. LIMA, Sandra Fernandes de Oliveira; LIMA, Luciano Vieira; CAMARGO JR, Hércio; MACHADO, André Campos. **COMO CONVERTER PARA PARTITURA O QUE ESTAMOS CANTANDO OU TOCANDO AO MICROFONE DO COMPUTADOR? - AUTOSCORE**. Playmusic, São Paulo, v. 64, p. 16-18, ISSN/ISBN: 14151871.

12. LIMA, Sandra Fernandes de Oliveira; LIMA, Luciano Vieira; CAMARGO JR, Hécio; MACHADO, André Campos. **COMO CONVERTER PARA PARTITURA O QUE ESTAMOS CANTANDO OU TOCANDO AO MICROFONE DO COMPUTADOR? - AUTOSCORE - PARTE II.** Playmusic, São Paulo, v. 65, p. 68-71, ISSN/ISBN: 14151871.
13. LIMA, Sandra Fernandes de Oliveira; LIMA, Luciano Vieira; PINTO, Marília Mazzaro; MACHADO, André Campos. **COMPUTER MUSIC - FINALE 2003 - AS NOVIDADES DA NOVA VERSÃO - PARTE II.** Playmusic, São Paulo, v. 65, p. 7-9, ISSN/ISBN: 14151871.
14. LIMA, Sandra Fernandes de Oliveira; LIMA, Luciano Vieira; MACHADO, André Campos; PINTO, Marília Mazzaro. **COMPUTER MUSIC - HARMONIZAÇÃO AUTOMÁTICA DE MELODIA UTILIZANDO O PLUG-IN DO FINALE 2003: BAND-IN-A-BOX AUTO-HARMONIZER.** Zoological Journal Of The Linnean Society, São Paulo - SP, v. 66, n. 1, p. 10-12, ISSN/ISBN: 14151871.
15. LIMA, Sandra Fernandes de Oliveira; LIMA, Luciano Vieira; MACHADO, André Campos; CAMARGO JR., Hécio. **CONVERSOR POLIFONICO DE ÁUDIO PARA MIDI - AMAZINGMIDI.** Playmusic, São Paulo, v. 66, n. 1, p. 15-18, ISSN/ISBN: 14151871.
16. LIMA, Sandra Fernandes de Oliveira; MACHADO, André Campos; SILVA, Carlos Alberto Lopes da; LIMA, Luciano Vieira. **COPYSCAT E VOCAL REMOVER - PROGRAMAS PARA REMOVER O VOCAL DE UMA MÚSICA.** Playmusic, São Paulo, v. 67, n. 1, p. 10-12, ISSN/ISBN:00141518.
17. LIMA, Sandra Fernandes de Oliveira; LIMA, Luciano Vieira; MACHADO, André Campos; PINTO, Marília Mazzaro. **FINALE 2003 - AS NOVIDADES DA NOVA VERSÃO.** Playmusic, São Paulo, v. 64, p.7-9, ISSN/ISBN: 14151871.

18. LIMA, Sandra Fernandes de Oliveira; LIMA, Luciano Vieira; MACHADO, André Campos; PINTO, Marília Mazzaro. **HARMONIZAÇÃO AUTOMÁTICA DE MELODIA COM O BAND-IN-A-BOX AUTO-HARMONIZER UTILIZANDO O FINALE 2003**. Playmusic, SÃO PAULO, v. 66, ISSN/ISBN: 14151871.
19. LIMA, Sandra Fernandes de Oliveira; VIEIRA, Júnia Helena; LIMA, Luciano Vieira; MACHADO, André Campos. **Interpretação automática de acordes e impressão de partituras com melodias e cifras - Band-in-a-box 11 - Parte III**. Playmusic, São Paulo, v. 63, p. 16-18, ISSN/ISBN: 14151871.
20. LIMA, Sandra Fernandes de Oliveira; SILVA, Carlos Roberto Lopes da; LIMA, Luciano Vieira. **PLUG-INS VST E DIRECTX**. Playmusic, São Paulo, v. 67, n. 1, p. 68-71, ISSN/ISBN: 00141518.
21. LIMA, Sandra Fernandes de Oliveira; VIEIRA, Júnia Helena; LIMA, Luciano Vieira MACHADO, André Campos. **BAND-IN-A-BOX 11 - INTERPRETAÇÃO AUTOMÁTICA DE ACORDES E IMPRESSÃO DE PARTITURAS COM MELODIAS E CIFRAS**. Playmusic, São Paulo, v. 62, p. 70-71, ISSN/ISBN: 14151871.
22. LIMA, Sandra Fernandes de Oliveira; LIMA, Luciano Vieira; VIEIRA, Júnia Helena; CAMARGO JR, Hécio; MACHADO, André Campos. **BAND-IN-A-BOX VERSÃO 11**. Playmusic, São Paulo, v. 52, p. 7-9, ISSN/ISBN: 14151871.

Conteúdo

Capítulo 1

Introdução.....	1
1.1 Justificativas.....	3
1.2 Objetivos gerais.....	5
1.3 Objetivo específico.....	6
1.4 Metas.....	7
1.5 Estrutura da dissertação.....	7

Capítulo 2

Sinais, formatos e protocolos de som.....	9
2.1 Sinal, Sinal Analógico e Sinal Digital.....	9
2.1.1 Sinal analógico.....	10
2.1.2 Sinal digital.....	10
2.2 Formato Wave	11
2.2.1 Cabeçalho do arquivo WAVE.....	12

2.3 A Idealização do MIDI.....	14
2.3.1 O que é MIDI?.....	15
2.3.2 Tamanho de arquivos sonoros de acordo com o tempo de duração da música: Wave x MIDI.....	19
2.3.3 O Protocolo MIDI.....	20
2.3.3.1 Canais MIDI.....	20
2.3.3.2 Track MIDI.....	21
2.3.3.3 Ppq.....	21
2.3.3.4 Delta-time.....	22
Exemplo de deltaTime com quatro Bytes.....	24
Exemplo de deltaTime com 2 Bytes.....	24
Exemplo de deltaTime com 1 Byte.....	24
Diferença entre deltaTime e ppq.....	25
Exemplo de representação de ppq e deltaTime.....	25
2.3.3.5 Os arquivos SMF padrões.....	27
SMF Formato 0 e Formato 1: diferença básica.....	27
2.3.3.6 O Arquivo MIDI SMF.....	27

Capítulo 3

Conceitos e Teoria Musical Básica.....	32
3.1 Notas Musicais.....	32
3.1.1 A Escala bem temperada.....	34
3.1.2 Oitavas.....	34
3.1.2.1 Numeração das oitavas e relação entre suas frequências.....	35
3.1.3 Regra de geração das frequências das notas musicais na escala bem temperada.....	36

3.1.4 Nomenclatura utilizada para as notas musicais, sustenidos e bemóis.....	36
3.1.5 Notas musicais e suas respectivas frequências.....	38
3.2 Timbre.....	43
3.3 Extensão Vocal ou Instrumental.....	45
3.4 Tessitura ou Vocal Range.....	46
3.5 Classificação Vocal ou Vocal Type.....	47
3.5.1 O porquê de se classificar as vozes.....	47
3.5.2 Classificação Vocal (Em inglês: Vocal Type).....	47
Classificação Masculina:.....	48
Classificação Feminina:.....	49
3.6 A importância da identificação da tonalidade ideal de um cantor, além de sua classificação vocal:.....	50
3.6.1 Conceito de Tonalidade.....	51
Distância de um semitom (meio-tom).....	52
Distância de um tom.....	52
3.6.2 Tipos de tonalidade.....	53
3.6.2.1 Tonalidade maior.....	53
3.6.2.2 Tonalidade menor.....	54
Tonalidade de dó maior.....	58
Tonalidade de dó menor.....	58
Tonalidade de Lá menor.....	59
3.7 Entendendo a questão da Transposição.....	59
3.7.1 Conceito de Transposição.....	59
Exemplo de transposição.....	60

Capítulo 4

Implementação de um sistema de transposição automática de seqüências musicais MIDI baseada na tessitura de um determinado cantor.....	64
4.1 Observações Iniciais	64
4.2 O problema da implementação do sistema.....	65
4.3 Requisitos mínimos necessários para implementação dos objetivos traçados.....	67
4.3.1 Abrir um arquivo MIDI, separar os canais e identificar os eventos musicais.....	68
4.3.1.1 Identificando o cabeçalho principal do arquivo MIDI.....	71
4.3.1.2 Separando os tracks do Arquivo MIDI de exemplo.....	75
4.3.1.3 Analisando o track de metaEventos (o track 1).....	77
Regra geral dos metaEventos.....	80
4.4 IHM (Interface Homem Máquina) – a interface com o usuário.....	85
4.4.1 Descrição da utilização da interface e do sistema de transposição.....	88
4.4.1.1 Potencialidades e características.....	88
1 Abrir um arquivo MIDI, seja em formato 0 ou formato1.....	88
2 Tocar ou interromper a execução do arquivo aberto ou do modificado.....	89
3 Eliminar pausas existentes no início do arquivo.....	90
4 Visualizar, salvar e imprimir a letra da música contida no arquivo.....	91
5 Visualizar, salvar e imprimir o range (Tessitura) de cada instrumento (canal MIDI) do arquivo.....	93

6 Visualizar e mudar os instrumentos de cada canal MIDI do arquivo (cada arquivo pode possuir até 16 canais MIDI).....	96
7 Transpor a música conforme tessitura vocal do músico ou instrumento que deseja utilizar com a música de playback, de acordo com a melodia de um determinado canal MIDI existente no arquivo.....	97
8 Salvar o arquivo mantendo as configurações do arquivo original acrescido das modificações realizadas.....	102

Capítulo 5

Estudo de casos empregando o Best Vocal 2005 e análise comparativa com outros programas semelhantes.....	103
5.1 Determinando o alcance vocal de conforto e adequando seqüências MIDI para acompanhar um grupo vocal.....	103
5.1.2 Identificando e classificando o range vocal de conforto para um cantor qualquer.....	104
5.1.2.1 Passos para utilização do sistema.....	105
5.2 Identificação do range vocal do cantor, manipulação de arquivos MIDI e transposição musical baseada no range do cantor.....	111
5.2.1 Abrindo um novo arquivo MIDI.....	111
5.3 Verificando a tessitura dos instrumentos do arranjo midi.....	113
5.4 Verificando se o alcance vocal dos cantores é adequado a uma determinada seqüência MIDI.....	114
5.5 Adequando o arranjo da seqüência MIDI para que todos os cantores, inclusive o Cantor 2, do presente quarteto vocal possam cantar uma determinada voz da música Sabiá.....	118
5.6 Nova análise dos Cantores e Canais.....	120

5.7 Eliminando as pausas iniciais do arquivo.....	126
5.8 Salvando as modificações realizadas: transposição e eliminação de pausas.....	126
5.9 Outros programas que fazem operações semelhantes às do Best Vocal.....	127
5.9.1 Band-in-a-Box 2005.....	128
5.9.2 Sibelius 2005.....	129
5.9.3 Finale 2005.....	129
5.9.4 Sonar 4 – 2005.....	130
5.10 Um estudo de caso realizado com um cantor popular usuário profissional da música seqüenciada.....	131

Capítulo 6

Conclusões e trabalhos futuros.....	140
1 Estudo da teoria e conceitos sobre sinais, ruídos e do processo de digitalização de sinais sonoros.....	140
2 Estudo dos formatos e protocolos de registro dos sinais sonoros.....	141
3 Estudo do protocolo MIDI, hardware e software, bem como dos formatos de arquivos para registro de músicas seqüenciadas.....	141
4 Projeto e implementação de um sistema de transposição automática de seqüências musicais MIDI de acordo com a tonalidade de conforto de um determinado cantor.....	141
5 Estudo de casos.....	142
6 Conclusão pela confrontação dos resultados e estudo de casos obtidos, com os objetivos propostos inicialmente.....	142
7 Levantamento e identificação de propostas para trabalhos futuros.....	143

Referências	145
Anexo 1	149
Anexo 2	154
Anexo 3	158
Anexo 4	163
Apêndice 1	217

Lista de diagramas

Capítulo 2

Diagrama 2.1 Bytes por ponto amostrado.....	16
Diagrama 2.2 Informação em um arquivo MIDI para tocar a nota C4 por 2 segundos com o timbre de violão.....	17
Diagrama 2.3 Informação MIDI contendo 9 Bytes, não incluindo os deltaTimes (DT1 e DT2).....	18
Diagrama 2.4 Informação MIDI contendo 11 Bytes.....	18
Diagrama 2.5 Informação MIDI contendo 17 Bytes.....	19
Diagrama 2.6 Arquitetura da máquina MIDI.....	23
Diagrama 2.7 Mensagem MIDI completa: DT1->Byte de Status->Byte de dados	23
Diagrama 2.8 Cálculo da Ppq -> Ppq = 240.....	26
Diagrama 2.9 Estrutura dos arquivos SMF.....	28
Diagrama 2.10 Estrutura dos arquivos SMF -> Cabeçalho Principal.....	28
Diagrama 2.11 Estrutura dos arquivos SMF -> Cabeçalho dos Tracks.....	29

Capítulo 4

Diagrama 4.1 Sistema de transposição de seqüências MIDI baseada em range vocal.....	87
Diagrama 4.2 Gerenciamento do arquivo MIDI.....	87
Diagrama 4.3 Análise, modificação e transposição dos arquivos MIDI.....	87
Diagrama 4.4 Letra.....	92
Diagrama 4.5 Detecção do range dos canais MIDI.....	94
Diagrama 4.6 Range.....	96
Diagrama 4.7 Transposição.....	98

Lista de figuras

Capítulo 1

Figura 1.1 Nódulos.....	4
Figura 1.2 Pólipos.....	4
Figura 1.3 Edemas.....	4
Figura 1.4 Range do cantor e range da melodia a ser interpretada.....	6
Figura 1.5 Range do cantor e range da melodia transposta.....	6

CAPÍTULO 2

Figura 2.1 Sinal analógico.....	10
Figura 2.2 Sinal analógico com os pontos de amostragem que serão digitalizados.....	11

Capítulo 3

Figura 3.1 Aparelho Fonador humano.....	33
Figura 3.2 Cordas (Pregas) Vocais Masculinas e femininas.....	33
Figura 3.3 Teclado de um piano com a nota lá 440hz.....	34
Figura 3.4 Oitavas Musicais.....	34
Figura 3.5 Numeração das oitavas.....	35
Figura 3.6 Numeração das notas com suas frequências múltiplas pelo fator de 2.....	35
Figura 3.7 Notas Musicais e suas denominações.....	37
Figura 3.8 Teclas nomeadas com os símbolos (# ou b) acrescidos.....	38
Figura 3.9 Nomeação da nota Dó (C) em relação aos sustenidos e bemóis: Dó# (C#) ou Réb (Db).....	38
Figura 3.10 Envelope sonoro de três instrumentos musicais: Piano, Clarinete e Violino.....	45
Figura 3.11 Extensão vocal de um indivíduo qualquer (notas alcançadas sem total qualidade vocal).....	45
Figura 3.12 Clarinete Alto em Mi Bemol com sua respectiva extensão de notas.....	46
Figura 3.13 Tessituras vocais de dois indivíduos sendo que o segundo possui um alcance vocal de sete notas acima.....	47
Figura 3.14 Extensão de notas alcançadas com qualidade pelo Baixo masculino (Tessitura - Fá1 a Mi3).....	48
Figura 3.15 Extensão de notas alcançadas com qualidade pelo Barítono (Tessitura - Fá#1 a Fá3).....	49
Figura 3.16 Extensão de notas alcançadas com qualidade pelo Tenor (Tessitura - Dó2 a Sol#3).....	49

Figura 3.17 Extensão de notas alcançadas com qualidade pela Contralto (Tessitura - Fá2 a Mi4).....	49
Figura 3.18 Extensão de notas alcançadas com qualidade pela Mezzo- Soprano (Tessitura - Sol2 a Sol#4).....	50
Figura 3.19 Extensão de notas alcançadas com qualidade pela Soprano (Tessitura - Dó3 a Lá4).....	50
Figura 3.20 Distância de um semitom.....	52
Figura 3.21 Distância de um tom.....	52
Figura 3.22 Notas da Tonalidade de Dó Maior.....	53
Figura 3.23 Notas da Tonalidade de Si Maior.....	54
Figura 3.24 Notas da Tonalidade de Lá Maior.....	55
Figura 3.25 Relógio de notas com a distância entre elas	60
Figura 3.26 Distância de C4 a A4, igual a -3S.....	60
Figura 3.27 Distância de A4 a E5, igual a -5S.....	61
Figura 3.28 Distância de E5 a D5, igual a -2S.....	61
Figura 3.29 Distância de D5 a C4, igual a -2S.....	61
Figura 3.30 Distância de C4 a G4, igual a -5S.....	62
Figura 3.31 Distância de G4 a C4, igual a 5S.....	62
Figura 3.32 Nota musical C4, quatro semitons acima, correspondendo à nota E4.....	63

Capítulo 4

Figura 4.1 Nódulos em pregas vocais.....	65
Figura 4.2 Partitura da música a ser analisada.....	69
Figura 4.3 Interface do Best Vocal 2005.....	86
Figura 4.4 Abrindo um arquivo MIDI qualquer.....	89
Figura 4.5 Arquivo wave com silêncio no início e fim do arquivo.....	90

Figura 4.6 Eliminando Pausas	91
Figura 4.7 Janela da ferramenta Letra da Música.....	92
Figura 4.8 Acréscimo de acordes acima das palavras.....	93
Figura 4.9 Range dos instrumentos.....	96
Figura 4.10 Mudança de instrumentos.....	97
Figura 4.11 Janela de transposição.....	99
Figura 4.12 Seqüência de ações para a transposição.....	100
Figura 4.13 Classificações padrões.....	100
Figura 4.14 Botões de limites de range das classificações.....	101
Figura 4.15 Pop-ups com limites do range do cantor.....	101
Figura 4.16 Mensagem de inviabilidade de transposição.....	101
Figura 4.17 Botão de transposição.....	101
Figura 4.18 Salvando um arquivo modificado.....	102

Capítulo 5

Figura 5.1 Instalador do Best Vocal 2005.....	105
Figura 5.2 Ativando o Best Vocal 2005.....	105
Figura 5.3 Interface do Best Vocal 2005.....	105
Figura 5.4 Abrindo um arquivo MIDI.....	106
Figura 5.5 Mensagem de arquivo aberto com sucesso.....	106
Figura 5.6 Mensagem de erro ao abrir um arquivo.....	106
Figura 5.7 Janela de Transposição e identificação de range vocal.....	107
Figura 5.8 Classificação vocal padrão e seus ranges.....	107
Figura 5.9 Botões de disparo das notas dos ranges:.....	108
Figura 5.10 Botões de limites de range.....	108
Figura 5.11 Tocando tons através dos menus pop-ups.....	109
Figura 5.12 Limites do range vocal de conforto.....	109

Figura 5.13 Limite inferior do range.....	109
Figura 5.14 Limite superior do range.....	110
Figura 5.15 Abrindo o arranjo vocal a 4 vozes.....	112
Figura 5.16 Mensagem de arquivo aberto com sucesso.....	112
Figura 5.17 Mensagem de erro na abertura de um arquivo.....	112
Figura 5.18 Janela de range e nome dos instrumentos.....	113
Figura 5.19 Tessitura do canal 1.....	113
Figura 5.20 Instrumento do canal 1.....	114
Figura 5.21 Dó central do piano e o Lá 440Hz.....	114
Figura 5.22 Visualização gráfica dos ranges dos canais do arranjo e dos cantores.....	115
Figura 5.23 Range do cantor 1 x Tessitura da música.....	116
Figura 5.24 Range do cantor 2 x Tessitura da música.....	116
Figura 5.25 Range do cantor 3 x Tessitura da música.....	117
Figura 5.26 Range do cantor 4 x Tessitura da música.....	118
Figura 5.27 Transpondo a música automaticamente.....	119
Figura 5.28 Tessitura antes e depois da transposição automática.....	120
Figura 5.29 Comparação do range do cantor 1 com as melodias transpostas.....	121
Figura 5.30 Comparação do range do cantor 2 com as melodias transpostas.....	122
Figura 5.31 Comparação do range do cantor 3 com as melodias transpostas.....	123
Figura 5.32 Comparação do range do cantor 4 com as melodias transpostas.....	124
Figura 5.33 Eliminando pausas iniciais do arquivo.....	126
Figura 5.34 Interface principal do Vocal Wizard.....	128
Figura 5.35 Interface de escolha de range.....	128
Figura 5.36 Transposição no Sibelius 2005.....	129

Figura 5.37 Transposição no Finale 2005.....	130
Figura 5.38 Transposição no Sonar 4.....	130
Figura 5.39 Abertura do programa Best Vocal 2005.....	131
Figura 5.40 Interface Inicial.....	131
Figura 5.41 Abertura do arquivo MIDI.....	132
Figura 5.42 Mensagem de arquivo ABERTO COM SUCESSO.....	132
Figura 5.43 Botão Tocar.....	133
Figura 5.44 Janela Tessitura da Musica: escolha do canal da melodia.....	133
Figura 5.45 Janela Transpositor.....	134
Figura 5.46 Escalas com classificações vocais padronizadas (de Soprano a Baixo).....	134
Figura 5.47 Notas limites das escalas com classificações vocais.....	135
Figura 5.48 Sons das notas musicais: de Dó 0 a Si 5.....	135
Figura 5.49 Menu pop-up do Range Vocal de Conforto.....	135
Figura 5.50 Escolha do Canal MIDI da melodia no menu pop-up.....	136
Figura 5.51 Transposição realizada.....	137
Figura 5.52 Resultado da transposição (notas limites entre si1 e re3).....	137
Figura 5.53 Arquivo MIDI salvo com um novo nome.....	138
Figura 5.54 Abertura e Impressão da letra da música.....	138

Lista de tabelas

Capítulo 2

Tabela 2.1 Informações mínimas necessárias de um arquivo MIDI SMF	
-> Cabeçalho Principal.....	29
Tabela 2.2 Informações mínimas necessárias de um arquivo MIDI SMF	
-> Cabeçalho dos Tracks.....	31

Capítulo 3

Tabela 3.1 Nome das notas com suas respectivas letras.....	37
Tabela 3.2 Notas Musicais e suas respectivas frequências.....	43
Tabela 3.3 Classificação Vocal Básica Masculina e Feminina.....	48
Tabela 3.4 Notas com seus números correspondentes.....	55
Tabela 3.5 Notas que não pertencem à tonalidade mas que podem ser utilizadas por ela.....	56
Tabela 3.6 Numeração especial das notas fora da tonalidade.....	56

Tabela 3.7 Vinte e três notas com suas denominações para todas as tonalidades.....	57
Tabela 3.8 Notas e denominações para a escala de Dó Maior.....	58
Tabela 3.9 Notas e denominações para a escala de Dó Menor.....	58
Tabela 3.10 Notas e denominações para a escala de Lá Menor.....	59

Capítulo 4

Tabela 4.1 Cabeçalho de um arquivo MIDI.....	71
Tabela 4.2 Análise e identificação dos MetaEventos do primeiro Track....	79
Tabela 4.3 Análise e identificação dos MetaEventos do segundo Track....	84

Capítulo 1

Introdução

A matemática, a música e outras áreas do conhecimento, desde Platão, Sócrates e tantos outros, nasceram juntas como ciência, e, até hoje, vários desenvolvimentos e ferramentas técnicas [1] têm sido concretizados para resolverem problemas comuns a estes domínios, tais como: processos estocásticos, Wavelets [2], transformada de Fourier [3][4], Sistemas inteligentes de composição musical [5][6][7][8], modelagem do conhecimento humano[5][6][7][8] e outros mais. Mesmo em sistemas de educação e aprendizado, verifica-se que o cérebro humano, a cada grupo de pessoas, aprende de forma personalizada (GARDNER, 1994), conforme o tipo de inteligência de cada um [9], e, dentre estas inteligências, a inteligência musical é uma das que mais se destaca, mesmo quando o tema a ser ministrado é exclusivamente na área da matemática e da lógica [10].

Além do domínio musical interagir com outras áreas do conhecimento, o mesmo apresenta problemas que também carecem de soluções tecnológicas interdisciplinares que respondam e apresentem soluções exclusivas ao mesmo.

Como exemplo de tais problemas, pode-se apresentar um que possui grande relevância para os cantores, principalmente os populares: definir com precisão se um determinado cantor conseguirá ou não executar um determinado repertório musical, sem desafinar ou

comprometer a qualidade timbral¹ de sua *performance*.

A princípio pode parecer uma questão simples de ser respondida ou determinada através de experimentações, mas, quando observada com mais propriedade, nota-se ser a mesma de extrema complexidade, principalmente devido ao aparelho fonador humano variar continuamente de *performance* e range² de acordo com o clima, tensão emocional, estresse, alimentação e outros fatores mais.

Outro problema técnico se dá devido ao fato de que poucos músicos (principalmente os amadores) conhecem a fundo a teoria musical, sendo difícil, para os mesmos, determinar o melhor range e tessitura³ para executar uma música em um determinado instante. Este problema se agrava quando se percebe o quão difícil é encontrar profissionais competentes que possam realizar esta tarefa com precisão.

Por outro lado, implementar sistemas especialistas e sistemas inteligentes para trabalhar com timbres e arquivos sonoros é uma tarefa complexa que demanda do programador um conhecimento matemático e musical avançado, bem como conhecimento sedimentado em técnicas computacionais de análise de sinais digitalizados⁴. Novamente, encontrar profissionais com tais características não é uma tarefa simples, já que poucos se dedicam a esta formação multidisciplinar.

Pesquisando soluções para tal problema, identifica-se a existência de alguns sistemas computacionais (programas de computador) que auxiliam o músico a realizar a tarefa de transpor⁵ suas melodias para determinadas tonalidades⁶ musicais nas quais um cantor se

¹ Timbre – conjunto de parâmetros do som que caracterizam e diferenciam uma fonte sonora de outra. É através do mesmo que podemos distinguir o tipo de instrumento ou cantor que está executando uma determinada melodia. O mesmo é composto de uma envoltória (**A**ttack **D**elay **S**ustain **R**elease) de uma frequência fundamental e suas parciais harmônicas.

² Range – extensão vocal - faixa de frequência do espectro audível produzida por um determinado instrumento. Faixa de frequência audível percebida por uma pessoa ou equipamento.

³ Tessitura – região vocal de conforto – faixa do espectro audível onde o som é emitido com qualidade, sem distorção.

⁴ Digitalizar – converter um sinal analógico (produzido por um elemento físico real) em um sinal digital. Um sinal digitalizado é uma representação discreta, ou seja, representada por alguns pontos do sinal, cujos valores são convertidos em notação binária.

⁵ Transpor – alterar a faixa de frequência das notas musicais de uma determinada música (mudar a tonalidade)

⁶ Tonalidade – faixa do espectro sonoro representada por um conjunto de notas musicais que combinam, que soam agradavelmente quando tocadas em sequência. Para que este conjunto de notas pertença a uma mesma tonalidade, estas deverão obedecer a um conjunto de regras musicais específicas.

julga capaz de executar com conforto e qualidade timbral. Dentre os sistemas existentes, pode-se citar: Cakewalk [11], Band-in-a-Box[12], Finale[13], Sibelius[14], Encore [15] e outros mais.

Infelizmente tais sistemas não fazem transposições baseadas no range do cantor, e sim conforme o músico solicitar. Se o mesmo solicitar uma transposição inadequada, fora de seu range, o sistema simplesmente o fará, sem qualquer questionamento.

Assim, o domínio musical carece de sistemas especialistas autônomos, alguns com certo grau de inteligência, que atendam uma gama maior de usuários que possuam pouco ou nenhum conhecimento de teoria e técnicas musicais.

1.1 Justificativas

Um sistema que identifique a tessitura do cantor (*vocal range*), a partir do som discretizado e digitalizado, transpondo-a automaticamente para sua tonalidade de conforto vocal (tessitura), conforme sua classificação vocal (*vocal type*), seria uma ferramenta relevante tanto para quem canta quanto para quem escuta. A implementação de um sistema que apresente uma solução computacional especialista para a resolução deste problema, seria de grande valia para o domínio musical, para o ensino de música, para a saúde do próprio cantor e para o deleite do ouvinte.

Assim, justifica-se este trabalho na inexistência de um sistema especialista, inteligente ou não, que identifique e classifique automaticamente e dinamicamente o range e a tessitura de um cantor, bem como o range de cada instrumento de uma música. Através desta classificação seria viável a implementação de um sistema que determine qual a melhor tonalidade para execução de uma determinada música que traga um maior conforto ao cantor e satisfação ao ouvinte.

Um sistema com tais características auxiliaria a evitar que o cantor venha a ser acometido de lesões em suas pregas vocais⁷, traria uma maior satisfação ao ouvinte, ao evitar que o cantor desafine, e, também, minimizaria e otimizaria o trabalho do arranjador ou maestro na formação de seus grupos vocais e instrumentais.

⁷ Pregas vocais – não tecnicamente denominadas de Cordas vocais – órgão responsável pela emissão de frequências audíveis do sistema fonador

A seguir, são apresentados exemplos de lesões causadas nas pregas vocais do ser humano.

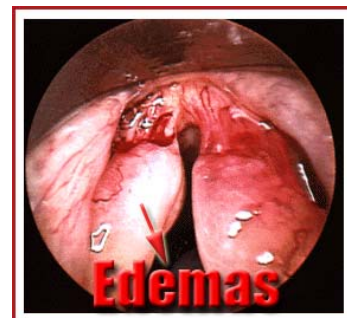
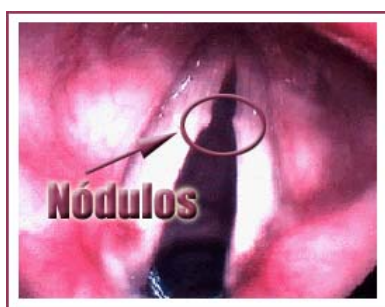


Figura 1.1 – Nódulos

Figura 1.2 - Pólipos

Figura 1.3 - Edemas

Lesões orgânicas causadas pelo uso excessivo da voz. Os Edemas são removidos apenas cirurgicamente sendo depois seguidos de reabilitação fonoaudiológica

A identificação, automática ou não, da tonalidade para se cantar uma música, a qualquer instante, não é uma tarefa simples de ser executada, seja por um especialista humano, seja por um sistema computacional especialista.

Conforme já comentado, implementar um sistema de reconhecimento de tessitura a partir de sinais analógicos digitalizados é uma tarefa que demanda um especialista com competência em várias áreas e domínios do conhecimento, tais como matemática, física, música, engenharia de som, computação e linguística. Uma solução, para este problema, que não necessite de um conhecimento tão vasto e multidisciplinar, seria de grande valia para o domínio musical, a qual permitiria que novos desenvolvimentos e aplicações se tornem possíveis e passíveis de serem implementadas por músicos relativamente fluentes na arte da programação.

Para tanto, uma solução emergente seria trabalhar com o paradigma musical abrangido pela tecnologia MIDI⁸ [11]. Esta tecnologia, prescinde o profissional de possuir conhecimentos profundos (ou nenhum) na área de análise de sinais digitalizados.

No padrão MIDI (ver detalhes no capítulo 2), as informações musicais, tais como: nota (frequência musical), timbre, andamento e outros parâmetros utilizados em uma música, estão explicitamente registrados no protocolo de transmissão de dados, bem como nos arquivos gerados em formatos também padronizados. Cabe ao sistema especialista

⁸MIDI – Musical Instrument Digital Interface – um protocolo padrão utilizado para representação e comunicação de mensagens musicais entre equipamentos digitais.

apenas manipular estas informações através de um modelo do conhecimento humano existente na área afim, evitando erros de interpretação e de análise. Tais erros são comumente existentes na análise convencional de sinais digitalizados devido às limitações das ferramentas matemáticas existentes para tal finalidade.

O grande problema a ser enfrentado na utilização deste paradigma é a falta de informações específicas de como extrair com segurança e precisão todos estes parâmetros deste protocolo e seus arquivos, ficando muitas das informações relegadas apenas a desenvolvedores de equipamentos e softwares proprietários, os quais inserem mensagens personalizadas (exclusivas) nos pacotes MIDI, de forma que somente os equipamentos de sua fabricação tenham um pleno acesso às informações ali contidas.

A despeito desta aparente “barreira”, justifica-se o ingresso nos desenvolvimentos utilizando o protocolo MIDI, por possuir a Universidade Federal de Uberlândia, na Faculdade de Engenharia Elétrica, um grupo de pesquisadores com várias publicações, pesquisa e desenvolvimentos nesta área. Este grupo possui um bom domínio do protocolo MIDI e das características exclusivas de cada fabricante de equipamento e softwares do mercado, permitindo que se possa implementar qualquer aplicativo no domínio musical utilizando o paradigma MIDI, transformando insegurança e expectativas em certezas e confiabilidade.

O conhecimento musical existente e necessário para se resolver tal problema, aliado ao suporte tecnológico de um paradigma que permite a implementação de sistemas especialistas de análise no domínio musical, em especial análise de range e tessitura vocal, justificam a viabilidade de se propor tal projeto de pesquisa, o qual é objeto desta dissertação.

1.2 Objetivos gerais

O objetivo geral deste trabalho iniciado é o projeto e implementação de um sistema de determinação de análise de range e tessitura vocal de conforto a partir de qualquer mídia

sonora, tais como: arquivos Wave, MIDI, Mp3⁹ ou direto de uma fonte sonora através de transdutores¹⁰ (microfones, captadores, outros).

A meta final seria projetar e implementar um sistema que conseguisse determinar, em tempo real, o range vocal de um cantor e sua classificação, transpondo automaticamente o repertório musical a ser executado em determinado instante, ou, em casos extremos, eliminando as músicas que não fossem passíveis de execução pelo respectivo cantor.

1.3 Objetivo específico

Projetar e implementar um sistema computacional, um software, que permita a análise assistida de range e classificação vocal, tanto do cantor quanto dos instrumentos existentes em uma sequência musical MIDI, bem como a transposição automática do range dos instrumentos da música analisada para a tonalidade de conforto do cantor em questão, centrada no range da melodia a ser executada pelo cantor. A tonalidade de conforto a ser adotada será aquela que fique centrada no range de cada cantor, conforme ilustrado nas figuras 1.4 e 1.5.

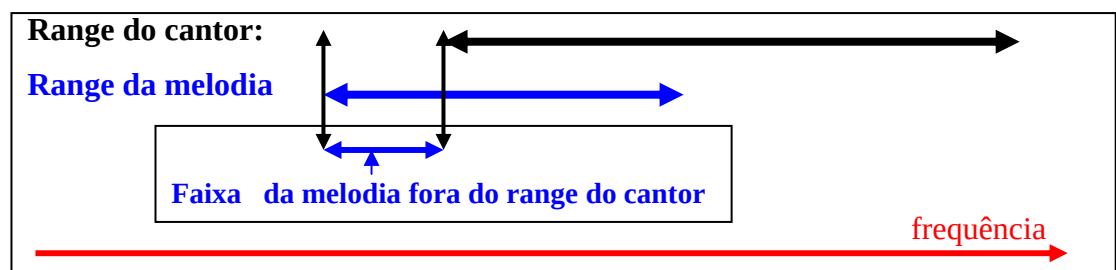


Figura 1.4 – Range do cantor e range da melodia a ser interpretada

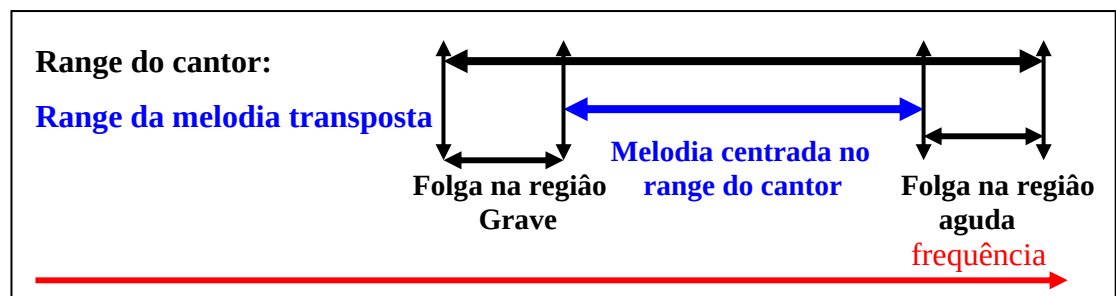


Figura 1.5 – Range do cantor e range da melodia transposta

⁹Mp3 – formato de arquivo contendo uma informação musical compactada através de algoritmos específicos.

¹⁰ Transdutor – elemento capaz de converter um sinal proveniente de um dispositivo ou fenômeno físico em um sinal elétrico equivalente (exemplo: a agulha de um toca-discos antigo – transforma a pressão nos sulcos dos discos em um sinal elétrico equivalente para excitação de um alto-falante - um outro transdutor)

A análise da tessitura vocal, ou seja, da região de conforto dentro do range de um cantor onde o mesmo produza sons de qualidade sonora, sem distorção, é feita através de fonetogramas [16][17] por pesquisadores em fonoaudiologia. Os fonetogramas demandam análise de sinais digitalizados no domínio do tempo e da frequência, utilizando, para tanto, transformadas e técnicas matemáticas complexas. Os mesmos apresentam algumas restrições quanto à precisão e fidelidade dos resultados obtidos, devido tanto à dificuldade de utilização das ferramentas matemáticas aplicadas a sinais digitalizados, bem como à deficiência na utilização correta dos conceitos matemáticos e físicos envolvidos no processo.

1.4 Metas

Para cumprir os objetivos específicos traçados, as seguintes ações foram realizadas:

- Estudo da teoria e conceitos sobre sinais, ruídos e do processo de digitalização de sinais sonoros.
- Estudo dos formatos e protocolos de registro dos sinais sonoros.
- Estudo do protocolo MIDI, hardware e software, bem como dos formatos de arquivos para registro de músicas sequenciadas.
- Projeto e implementação de um sistema de transposição automática de sequências musicais MIDI de acordo com a tonalidade de conforto de um determinado cantor.
- Um estudo de caso prático utilizando um usuário profissional da música sequenciada para validação do sistema gerado.
- Conclusão pela confrontação dos resultados e estudos de casos obtidos, com os objetivos propostos inicialmente.
- Levantamento e identificação de propostas para trabalhos futuros.

1.5 Estrutura da dissertação

- No Capítulo 1 são apresentadas a Introdução, as Justificativas, os Objetivos gerais e específicos, as Metas e a Estrutura desta dissertação, onde são abordados os problemas a serem enfrentados na identificação e classificação

vocal de um determinado indivíduo, bem como apresentar o trabalho, sua relevância, potencialidades e restrições.

- No Capítulo 2 são apresentados os conceitos de sinais analógicos e digitais, a definição do que vem a ser o formato Wave e detalhes do protocolo MIDI.
- No Capítulo 3 são apresentados conceitos e teoria musical básica, focando nos métodos e tipos de classificação vocal.
- No Capítulo 4 é apresentado o projeto e implementação do sistema de transposição automática de sequências musicais MIDI baseada na tessitura de um determinado cantor.
- No Capítulo 5 são apresentados dois estudos de casos, real e simulado, empregando as ferramentas implementadas nesta dissertação, as quais deram origem ao software denominado por Best Vocal 2005. Também são apresentados alguns programas que realizam algumas das potencialidades do sistema proposto nesta dissertação.
- No Capítulo 6 é apresentada a Conclusão final do trabalho, comparando as metas e objetivos propostos com os resultados obtidos. No mesmo também são apresentadas sugestões de trabalhos futuros para melhoria do sistema existente, bem como para implantação de novas potencialidades.

Capítulo 2

Sinais, formatos e protocolos de som

Neste capítulo serão abordadas as diferenças entre sinal analógico e digital, o princípio básico de conversão e digitalização destes sinais, nível DC, relação sinal ruído, decibéis, formato Wave de arquivos de sinais digitalizados e sobre o protocolo de comunicação MIDI e seus formatos de arquivos para registro de seqüências MIDI.

2.1 Sinal, Sinal Analógico e Sinal Digital

Antes de conceituar sinal analógico e sinal digital, é necessário abordar alguns conceitos sobre sinal, ruído e relação sinal ruído.

Sinal: Um sinal é composto por uma forma de onda produzida por um elemento físico em um meio de propagação qualquer. No caso da música, estar-se-á tratando de sinais produzidos por instrumentos musicais ou sistema fonador humano.

Ruído: No caso de sinais musicais, é todo som que esteja incluído no som musical que não pertença à informação (à música) que se deseja transmitir ou capturar.

Relação Sinal Ruído: É a razão entre o nível de pressão sonora do sinal que se deseja transmitir ou adquirir em relação ao nível de pressão sonora dos demais sinais

expúrios à informação musical (o ruído). Quanto maior esta relação, melhor será a qualidade do sinal emitido ou capturado.

2.1.1 Sinal analógico

Um sinal analógico, no caso de uma onda sonora, é um sinal que possui características semelhantes ao objeto físico que as produziu. Assim, no caso de um cantor, as cordas vocais vibram com um determinado movimento, provocando uma vibração, um movimento do ar ao ser redor, o qual produz uma onda cujo perfil possui o mesmo aspecto do movimento que a produziu. Diz-se, assim, que esta onda é análoga ao corpo que a produziu. Daí o nome: sinal analógico. A figura 2.1 ilustra um sinal analógico.

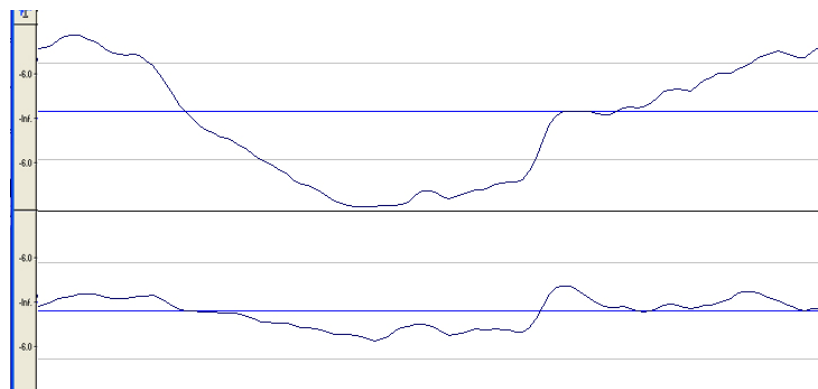


Figura 2.1 – Sinal analógico

2.1.2 Sinal digital

O computador não possui uma memória infinita, e, portanto, pode guardar uma certa quantidade finita de informações. Esta característica faz com que seja impossível o armazenamento de um sinal analógico no mesmo, já que no processo de digitalização do sinal apenas o valor do sinal em um determinado tempo poderá ser armazenado. Como entre dois pontos quaisquer pode-se obter infinitos pontos, está fora de cogitação o armazenamento completo do sinal. Assim, um sinal digital é uma representação discreta, um conjunto de amostras, finita, de alguns pontos do sinal analógico original, cujos valores são armazenados em notação binária. A figura 2.2 ilustra um sinal analógico apresentando os pontos amostrados do mesmo que comporão o sinal digital.

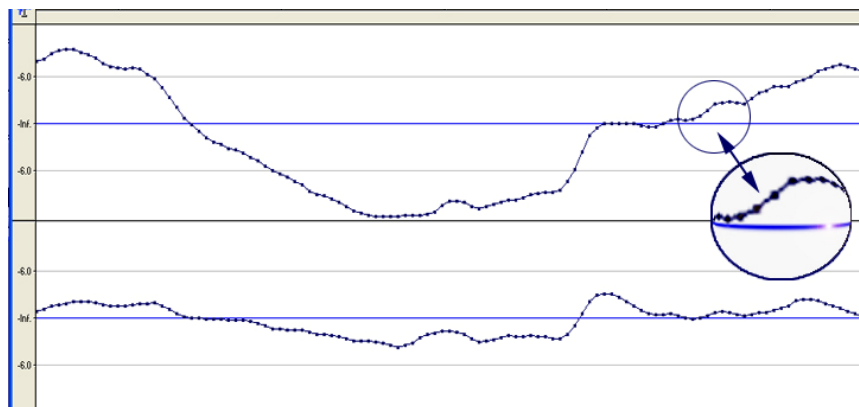


Figura 2.2 – Sinal analógico com os pontos de amostragem que serão digitalizados

Obs. Os princípios básicos do processo de conversão A/D (analógico para digital) e dos processos de amostragem, quantização e digitalização de um sinal sonoro musical podem ser vistos com detalhes nas dissertações de mestrado de MACHADO [19] e de LOPES [22] defendidas na Universidade Federal de Uberlândia – FEELT.

2.2 Formato Wave

Como existem vários processos de amostragem de um sinal para posterior armazenamento em memória de computador, bem como os mesmos podem ser amostrados com resoluções diferentes, variando taxa de amostragem, número de bits de quantização, tipo de armazenagem (estéreo ou mono), tipo de compressão e outras características mais [18][19], foram criados vários formatos padrões de armazenamento para garantir uma portabilidade e confiabilidade na recuperação destes sinais por qualquer tipo de sistema computacional ou equipamento multimídia.

Entre estes formatos, o mais utilizado e difundido é o formato Wave [18]. Conforme a faixa audível do sinal que se deseja registrar, adota-se uma taxa de amostragem que obedeça ao teorema da amostragem de Nyquist [20].

Conforme a complexidade da forma de onda (o número de parciais harmônicas com respectivas amplitudes) e sua relevância no registro timbral do som, varia-se o número de bits para representar cada ponto amostrado.

Estas características são registradas no formato Wave em um cabeçalho padrão, permitindo que o sinal seja recuperado e analisado com precisão pelas ferramentas matemáticas dedicadas a este fim.

Assim, o formato Wave possui em seu cabeçalho os seguintes parâmetros:

- **tamanho do arquivo em bytes:** Número de bytes de dados do arquivo, incluindo o cabeçalho.
- **Número de bits por amostra:** indica quantos bits serão utilizados para representar cada ponto do sinal de áudio amostrado. O número de bits é fundamental para a qualidade da reprodução do sinal digitalizado. Quando o número de bits é baixo, pode-se acrescentar ruídos de digitalização na reprodução, ou seja, a inserção de parciais harmônicas de alta frequência no sinal (ruído de quantização), provocando a sensação da existência de ruídos (chiados) no áudio.
- **Número de canais:** informa ao usuário quantos canais simultâneos de áudio existem no arquivo. Um valor igual a 2 indica que o arquivo é estéreo. Valor igual a 1 indica um arquivo mono, e, atualmente, pode-se ter valores superiores a 2 para sistemas quadrafônicos, sistemas para *home theater* e outras aplicações mais.
- **Taxa de amostragem:** a taxa de amostragem é definida para capturar o sinal com uma qualidade ótima para o ouvido humano, e, neste caso, a mesma não precisa exceder o valor de 44.100 Hz, já que o limite da audição humana está em torno de 22.000 Hz, obedecendo os critérios definidos por Nyquist. Por outro lado, o sistema de reprodução do áudio também limita esta taxa de amostragem. No caso de sons trafegando em linhas telefônicas com pares de fios, a taxa de amostragem é em torno de 11.025 Hz. No caso de transmissão via rádio, a taxa é de 22.050 Hz.

2.2.1 Cabeçalho do arquivo WAVE

O arquivo Wave inicia por um cabeçalho de 36 Bytes, sendo:

- 4 (quatro) Bytes contendo a string “RIFF” (caracteres 52 49 46 46 em Hexadecimal).
- 4 (quatro) Bytes contendo o tamanho total do arquivo.
- 4 (quatro) Bytes contendo a string “WAVEfmt” (caracteres 57 41 56 45 66 6D 74 20 em Hexadecimal).
- 2 (dois) Bytes para estrutura, como, por exemplo: PCM (Pulse Code Modulation).
- 2 (dois) Bytes para número de canais.
- 4 (quatro) Bytes para a taxa de amostragem.
- 4 (quatro) Bytes para a taxa média de transferência de dados.
- 2 (dois) Bytes para representar a quantidade mínima de bytes utilizados para representar um ponto amostrado: 8 bits mono: 01, 8 bits estéreo: 02, 16 bits mono: 02, 16 bits estéreo: 04.
- 2 (dois) Bytes para o número de bits por amostra. Oito bits = 08, dezesseis bits = 16.
- 4 (quatro) Bytes para representar a string “data”, caracteres 64 61 74 61 em hexadecimal.
- 4 (quatro) Bytes para registrar o número de Bytes de dados (pontos digitalizados) a serem lidos.

Obs. Quando uma informação possui mais de um Byte no arquivo Wave, o primeiro Byte da informação é o Byte mais significativo.

Conforme mencionado no Capítulo 1, este trabalho de dissertação não utilizará o arquivo Wave ou seus derivados para análise de uma música. Esta escolha se deu devido à complexidade das ferramentas matemáticas de análise e da imprecisão dos resultados obtidos pelas mesmas quando não são observados os parâmetros ótimos de aplicação de cada uma, tais como: a aquisição de períodos completos de sinais e uma taxa de amostragem dinâmica que garanta uma aquisição de múltiplos 2^n pontos por período.

2.3 A Idealização do MIDI

Nos anos 80, do século passado, houve um crescente interesse por música eletrônica, surgindo inúmeros equipamentos musicais que interligavam entre si para gerar novos tipos de sons, permitir *performances* originais e permitir que um músico apenas pudesse realizar, ao mesmo tempo, diversas tarefas que demandariam um grupo bem maior. Para tanto, exigiam-se destes músicos um conhecimento razoável de eletrônica, bem como, do sistema, complexo arranjo de fios de interconexão entre os equipamentos.

Na busca de soluções para estes problemas, e, com o objetivo de popularizar este novo paradigma de produção musical, alguns grandes fabricantes de equipamentos musicais (inicialmente três): a Roland Corporation, a Sequential Circuits e a Oberheim Electronics, se reuniram, em junho de 1981, na feira do NAMM (National Association of Music Merchants) (RATTON, 1995), onde definiram a criação de uma interface padrão (um sistema para interconectar equipamentos eletrônicos) que permitisse a simplificação do interfaceamento padrão entre equipamentos digitais eletrônicos voltados à produção musical, tanto para equipamentos proprietários, quanto para equipamentos de marcas e destinações diferentes.

Esta interface, este padrão, inicialmente foi denominado por **USI** (Universal Synthesizer Interface). Para interligar esta interface com os diversos teclados e equipamentos MIDI, surgiu a necessidade de se criar um protocolo padrão de comunicação com a mesma, denominado de **MIDI** (**M**usical **I**nstrument **D**igital **I**nterface). A primeira divulgação da interface **USI** e do protocolo **MIDI**, ao público, foi na mostra do **NAMM** de junho de 1982, disponibilizando, em janeiro de 1983, a primeira especificação do protocolo MIDI: a **MIDI Specification 1.0** [21] contendo todos os detalhes do protocolo¹ MIDI e da interface de comunicação - especificação esta que até hoje sobrevive sem modificações, apenas com alguns acréscimos já previstos na estrutura inicial do projeto.

O protocolo MIDI disponibiliza todas as informações e ferramentas para que se possam interconectar vários equipamentos digitais que possuam uma interface USI (MPU401 ou

¹ Protocolo - linguagem de comunicação. Uma ferramenta que permite a duas pessoas ou dois dispositivos se comunicarem (Ex. inglês, português, música....MIDI).

similar), bem como, também, um conjunto de especificações de como armazenar as informações musicais em arquivos digitais, para que, futuramente, o músico possa reproduzi-las em seu equipamento. Estes tipos de arquivos, projetados para registro das seqüências MIDI, foram denominados de **SMF: Standard MIDI Files**.

Inicialmente foram criados 3 (três) tipos básicos de formatos: o formato 0, o formato 1 e o formato 2. Destes, sobreviveram, comercialmente, os formatos 0 e 1.

O formato 0 é mais utilizado para equipamentos de *performance* ao vivo (teclados musicais, seqüenciadores, mesas de luz, mesas de som e outros) e o formato 1 para músicos que trabalham com edição de partituras por computador.

2.3.1 O que é MIDI?

MIDI é um protocolo padrão universal que apresenta um conjunto de mensagens capazes de levar toda a informação necessária a um equipamento musical eletrônico digital para torná-lo capaz de gerar ou reproduzir músicas ou fenômenos associados às mesmas.

Diferente do arquivo Wave que carrega em si uma cópia digitalizada da forma de onda contendo o sinal de uma música, um arquivo MIDI carrega em si apenas mensagens de como uma música deverá ser executada por um equipamento de síntese² musical.

Uma informação MIDI gera mensagens do tipo:

- Ative uma nota musical C4 (dó da oitava 4) durante 2 segundos utilizando o timbre de violão de Nylon.

Se fosse utilizado um arquivo Wave para armazenar tal som, no mesmo deveria constar o registro de 2 segundos de execução de uma nota C4 tocada ao violão. Se o som for armazenado em um arquivo wave de boa qualidade (44KHz, stereo e 16 bits de resolução), gerar-se-ia um espaço mínimo para registro do mesmo, em memória, de 44.000 pontos de armazenagem, onde cada ponto ocuparia 4 (quatro) Bytes, sendo dois

² Sintetizador – um equipamento capaz de gerar sons e timbres de instrumentos musicais

devido a resolução de 16 bits por amostra, e, mais dois, para a armazenagem do sinal em dois canais (estéreo).

Calculando o espaço de memória para armazenagem destes 44.000 pontos em 2 segundos, ter-se-ia: $(44.000 \times 2 \times 2 \times 2)$ Bytes = 352.000 Bytes, ou seja:

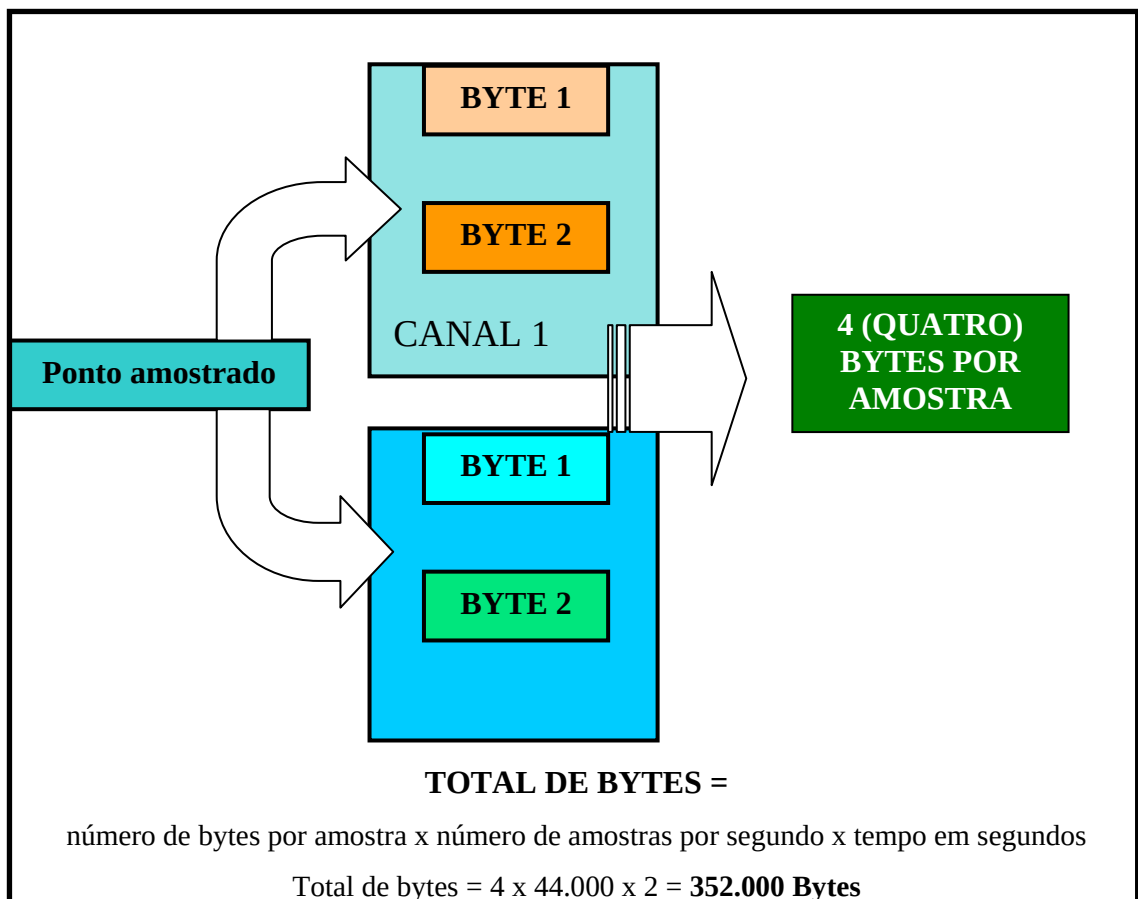


Diagrama 2.1 – Bytes por ponto amostrado

Por analogia, um minuto de música gastaria um espaço de memória de 10.560.000 (aproximadamente 7 disquetes de computador de 1.44MBytes³), ou seja: $4 \times 44.000 \times 60$ que é aproximadamente 10MBytes.

Em um arquivo MIDI, esta informação ocuparia apenas alguns bytes de dados, já que se armazena, nos arquivos SMF, apenas o que se deseja fazer, ou seja: tocar a nota C4 por 2 segundos com o timbre de violão.

³ 1 M = 1 Mega = 1024×1024 Bytes = 1048576 bytes

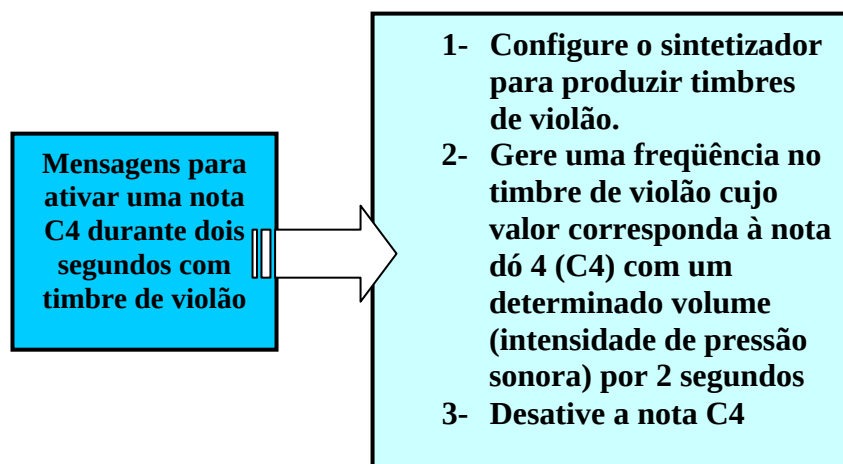


Diagrama 2.2 – Informação em um arquivo MIDI para tocar a nota C4 por 2 segundos com o timbre de violão.

Para exemplificar como nos SMF esta tarefa ocupa poucos Bytes de memória. Observe o código MIDI necessário, eliminando-se o cabeçalho do arquivo MIDI SMF, em hexadecimal⁴, para executar tal tarefa.

C0 18 DT1 90 3C 64 DT2 80 3C 00 C0

- C0 informa que se deseja ativar um instrumento.
- 18 informa que este instrumento é o violão de Nylon.
- DT1 informa o tempo que se deseja esperar para a nota musical seja iniciada após a ativação do instrumento.
- 90 indica que o sintetizador deve iniciar a execução de uma nota.
- 3C indica que a nota deve ser o C4.
- 64 indica o volume da nota (vai de 0 a 7F).
- DT2 indica o tempo que se deverá esperar para desativar a nota (duração da nota).
- 80 indica que uma nota deverá ser desativada.
- 3C indica que a nota a ser desativada é a nota C4.
- 00 indica que o volume desta nota deverá ser 0 (desativada).

Obs. O tempo de duração DT1 e DT2 dependem de alguns parâmetros a serem definidos no cabeçalho do arquivo MIDI, fator tal que não carece ainda de maiores detalhes para que se possa entender o exemplo dado.

⁴ Hexadecimal – sistema de numeração que possui 16 símbolos: os 10 símbolos do sistema decimal (de 0 a 9) acrescido das 6 primeiras letras do alfabeto (de A a F em maiúsculo).

Observe que armazenar 2 (dois) segundos de música com qualidade em mídia digital (Wave) gasta muito mais espaço de memória de computador do que armazenar a informação de como e qual nota musical deverá ser tocada (MIDI).

- No arquivo Wave (sem cabeçalho) ocupa-se 352.000 Bytes de memória.
- No arquivo MIDI (também sem cabeçalho), a informação **C0 18 DT1 90 3C 64 DT2 80 3C 00 C0** ocupa, aparentemente 11 Bytes, ou seja, 9 bytes de dados e dois de deltaTime⁵.

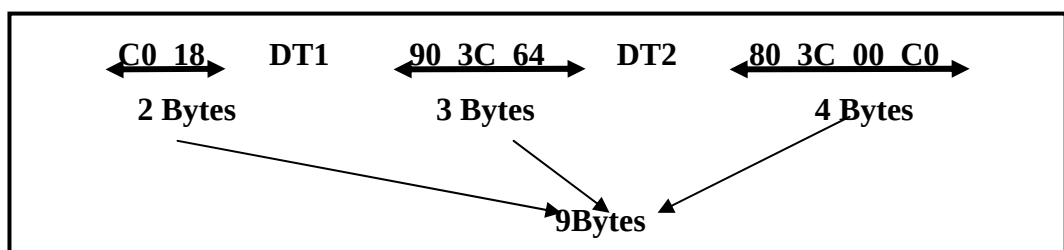


Diagrama 2.3 – Informação MIDI contendo 9 Bytes, não incluindo os deltaTimes (DT1 e DT2)

O que ocorre é que um deltaTime pode ter de 1 a 4 Bytes, conforme descrito anteriormente. Desta forma, esta informação final pode ter 11 Bytes, caso o DT1 e DT2 possuam apenas 1 Byte.

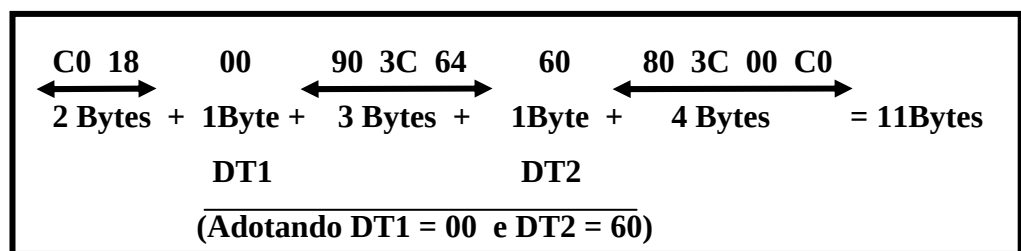


Diagrama 2.4 – Informação MIDI contendo 11 Bytes

Na pior das hipóteses, esta ação poderá ocupar 17 Bytes, no caso de DT1 e DT2 possuírem 4 Bytes.

⁵ deltaTime – ver explicação no tópico DeltaTime, item 2.3.3.4.

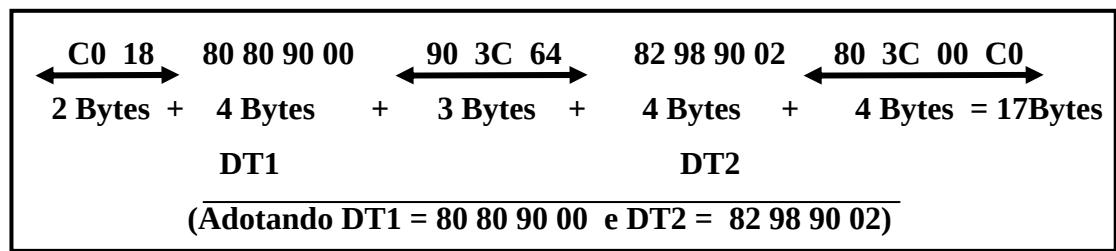


Diagrama 2.5 – Informação MIDI contendo 17 Bytes

Este fator, economia de espaço de memória, é um dos que tanto popularizou MIDI para aplicações em Internet, permitindo que músicas sejam transmitidas e recebidas pela WEB em tempos relativamente curtos.

2.3.2 Tamanho de arquivos sonoros de acordo com o tempo de duração da música: Wave x MIDI

É interessante analisar o que ocorre com o tamanho dos arquivos Wave e MIDI com o aumento do tempo de duração das músicas registradas pelos mesmos.

- **Wave**

Quando se deseja armazenar o dobro do tempo de uma execução musical em um arquivo sonoro Wave, isto implicaria em se dobrar a quantidade de memória para tal finalidade.

- **MIDI**

No caso de um arquivo MIDI, o aumento do tempo de execução musical não implica em nenhum aumento significativo de utilização de memória, já que tal fato só alteraria o valor do Byte responsável pela informação da duração da nota musical (DT2).

2.3.3 O Protocolo MIDI

MIDI é um protocolo criado inicialmente para o registro de músicas, crescendo em abrangência e potencialidades no controle automático de mesas de som, em sistemas de iluminação de shows e outras aplicações que surjam de acordo com os avanços tecnológicos e divulgação do protocolo. Alguns conceitos devem ser exemplificados para que se possa entender como as músicas são armazenadas e reproduzidas em sistemas MIDI. Dentre estes conceitos, serão abordados neste capítulo:

- Canal MIDI
- *Track* MIDI
- Ppq (ticks)
- DeltaTime
- Mensagens MIDI
- Arquivos SMF formato 0 e formato 1

2.3.3.1 Canais MIDI

O protocolo MIDI permite que se registre ou gere no mesmo até 16 instrumentos diferentes simultaneamente, o que, neste protocolo, é denominado por **canais MIDI**. Assim, com este protocolo pode-se representar músicas que tenham até 16 instrumentos tocando ao mesmo tempo para cada módulo⁶ MIDI. Isto se dá devido ao fato de que no protocolo MIDI a mensagem de escolha ou mudança de instrumento utiliza apenas 4 bits de dados pra representar um canal MIDI (instrumento MIDI), e, desta forma, tem-se um possibilidade de se representar 16 opções de canais (de 0000 a 1111). Caso se deseje representar mais de 16 instrumentos simultaneamente existe uma fórmula adotada pelos implementadores de equipamentos e de softwares MIDI: utilizar mais de um módulo MIDI para geração e reprodução de mais 16 canais. Inclusive, para simplicidade e transparência de tal fato ao usuário, hoje em dia existem equipamentos que já internamente possuem mais de um módulo MIDI, fazendo crer que os mesmos trabalham com mais de 16 canais MIDI.

Assim, **canal MIDI = instrumento MIDI** que está sendo sintetizado ou reproduzido.

⁶ Módulo MIDI – equipamento capaz de gerar, sintetizar e reproduzir timbres de instrumentos musicais.

2.3.3.2 *Track* MIDI

O conceito de *track* MIDI é o mesmo de uma pista (trilha) de gravação utilizada nos sistemas analógicos de gravação e reprodução sonora em fita magnética. Assim, podem-se utilizar “infinitos” *tracks* de gravação em programas de seqüenciamento musical utilizando computadores (dependendo da memória de cada computador). O fato de se ter apenas 16 canais MIDI por módulo não corresponde a dizer que se possui apenas 16 trilhas para se gravar uma música. Pode-se, por exemplo, desejar gravar um quarteto de flautas transversais, com cada melodia, de cada flauta, gravada em uma trilha independente. Neste caso, estar-se-á utilizando apenas um instrumento (um canal) MIDI para gerar o som de flauta transversal, mas, no caso, quatro trilhas independentes. Isto facilita a edição posterior das músicas gravadas, já que, se gravadas em um só *track*, ocorrendo um erro de gravação ter-se-ia de gravar todas as quatro flautas outra vez. Se gravadas em *tracks* separados, bastaria gravar novamente apenas a trilha onde o erro ocorreu.

2.3.3.3 Ppq

Ppq significa: Pulses per quarter note, ou seja, número de pulsos por unidade de tempo musical igual a uma semínima⁷. Em outras palavras, ppq significa em quantas partes temporais será dividida uma semínima. Em alguns programas de computador, no lugar de se utilizar a nomenclatura ppq utiliza-se ticks.

Sem entrar em detalhes de teoria musical, basta saber que em notação musical, os tempos são grafados de modo relativo, ou seja, não possuem uma duração fixa temporal. Assim, uma unidade de tempo relativa como a figura musical semínima, pode durar quanto tempo se queira, dependendo de um parâmetro musical denominado de metrônomo.

⁷ Semínima – unidade de tempo de duração de uma nota musical. A mesma foi criada para se representar uma música no modo gráfico denominado de CPN (Commom Practice Notation) ou notação musical tradicional.

Um metrônomo informa quantas figuras musicais (no caso presente, a semínima) deverão ser tocadas no tempo de um segundo. Assim, se adotar-se um metrônomo⁸ de 60 (60 pulsos por minuto), com uma figura de semínima, indica que ter-se-ia uma semínima sendo tocada por cada segundo (60 por minuto).

Uma ppq de valor 120, por exemplo, indica que cada tempo de uma semínima será dividido em 120 partes, e, desta forma, um sistema de gravação MIDI capturará eventos musicais com precisão de 1/120 avos de segundo (0.00833s), ou seja, com 8 milésimos de segundo.

Uma ppq de 480, por exemplo, indica que cada tempo de uma semínima será dividido em 480 partes, ou seja, um sistema de gravação MIDI capturará, com tal valor, eventos com precisão de 1/480 avos de segundo, ou seja, com precisão de 0.0020833s, ou seja, com uma precisão de 2 milésimos de segundo.

Atualmente existem sistemas que conseguem uma precisão de ppq com valor 1024, ou seja, com 1/1024 avos de um segundo, o que equivale a 0.0009765s (aproximadamente 1 milésimo de segundo).

Observa-se que a ppq é uma medida de precisão, de fidelidade da música registrada em um arquivo MIDI em comparação com a interpretação original que a produziu. Quanto maior for a ppq, mais definição, maior a resolução da música gravada ou reproduzida.

2.3.3.4 DeltaTime

Para que se entendam os deltaTimes e seu conceito, é necessário a compreensão de como funciona a máquina MIDI. A arquitetura da mesma consiste basicamente de um registrador de eventos e de um contador up->down (decrecente).

⁸ Metrônomo - A figura musical (semínima, colcheia,...) de um metrônomo varia em uma peça musical de acordo com seu compositor, mas, no arquivo MIDI, a figura será sempre a semínima.

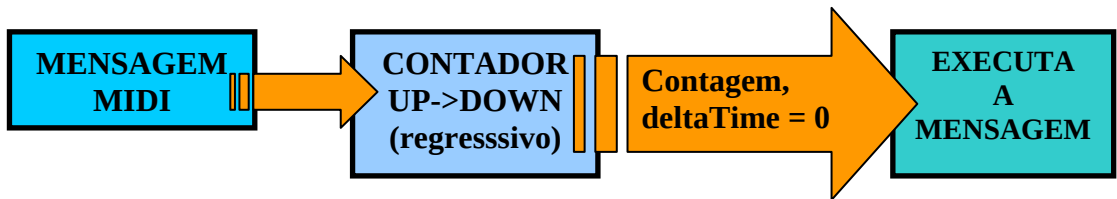


Diagrama 2.6 - Arquitetura da máquina MIDI

A estrutura da máquina MIDI funciona da seguinte forma:

- 1- O sistema recebe de um a quatro Bytes de informação (deltaTime) indicando uma contagem equivalente ao tempo em que a máquina MIDI deve esperar para executar a mensagem que virá logo após esta contagem.
- 2- Quando o contador chegar a zero (o clock –relógio- do contador regressivo é fixo e padrão em todas as máquinas MIDI), o sistema lê (ou recebe) e executa uma ação contida na mensagem MIDI em questão.
- 3- A máquina MIDI lê ou recebe uma nova contagem (deltaTime) e repete o processo até que uma mensagem de fim de *track* seja recebida.

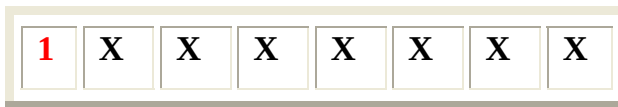
Assim, uma mensagem MIDI completa possui um deltaTime seguido da mensagem de status contendo o código da ação que se deseja fazer, seguido ou não de um ou mais Bytes de dados necessários para o status, a ação, a ser executado.



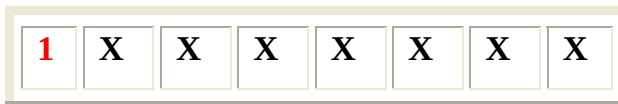
Diagrama 2.7 – Mensagem MIDI completa: DT1->Byte de Status->Byte de dados

Se o bit mais significativo do primeiro Byte de deltaTime for 1, isto indica que este deltaTime terá um novo Byte, se este novo byte também possuir o bit mais significativo setado em 1, isto significa que o deltaTime terá mais um terceiro Byte, neste caso, o quarto Byte deverá ter o bit mais significativo setado em 0, já que o número máximo de Bytes de um deltaTime é 4.

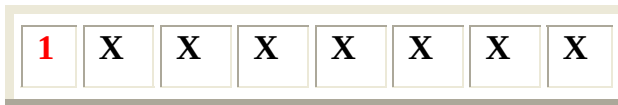
Exemplo de deltaTime com quatro Bytes



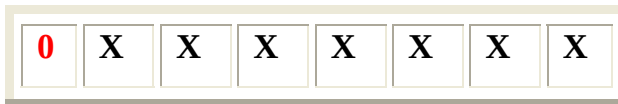
Primeiro Byte do deltaTime



Segundo Byte do deltaTime



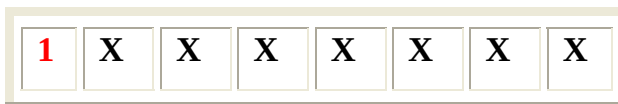
Terceiro Byte do deltaTime



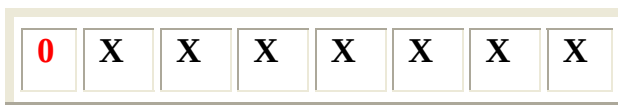
Quarto Byte do deltaTime

X = tanto faz se 1 ou 0

Exemplo de deltaTime com 2 Bytes



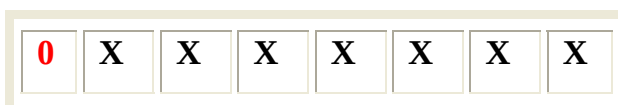
Primeiro Byte do deltaTime



Segundo Byte do deltaTime

X = tanto faz se 1 ou 0

Exemplo de deltaTime com 1 Byte



Primeiro Byte do deltaTime

X = tanto faz se 1 ou 0

Diferença entre deltaTime e ppq

A diferença está na forma com que os dois são registrados.

- A ppq é registrada utilizando Bytes completos, ou seja, os 8 bits de um Byte.
- Os deltaTimes são registrados utilizando apenas os 7 bits menos significativos de um byte.

O motivo de se grafar os deltaTimes com apenas os 7 (sete) bits menos significativos de um byte reside no fato de que o oitavo bit é utilizado para informar à máquina MIDI quantos Bytes de contagem o deltaTime possuirá. Pode ser que, em alguns casos, um Byte apenas de contagem não seja o suficiente para representar o tempo de um determinado evento, e, desta forma, o sistema deverá ter um conhecimento prévio desta informação para que possa ativar corretamente o evento registrado na mensagem MIDI.

Exemplo de representação de ppq e deltaTime

Exemplo 1 → Ppq = 90₍₁₀₎

O valor 90 é menor que 127₁₀ (0111 1111₂)

Conforme mostrado anteriormente, o maior valor que um deltaTime pode representar com um byte apenas é 127₁₀ (0111 1111₂), ou seja, com os 7 bits menos significativos do Byte igual a 1 e o mais significativo igual a 0.

Assim, uma Ppq de 90₁₀ pode ser representada por um deltaTime de um Byte.

Neste caso, o Byte de ppq e do deltaTime serão iguais, ou seja:

0	1	0	1	1	0	1	0
---	---	---	---	---	---	---	---

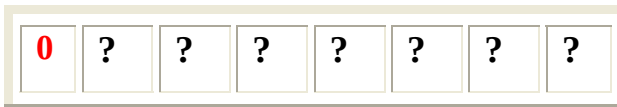
Ppq = 90

0	1	0	1	1	0	1	0
---	---	---	---	---	---	---	---

DeltaTime de um Byte = 90

Exemplo 2 -> $Ppq = 240_{(10)}$

O valor de $ppq = 240$ ultrapassa o maior valor que se pode representar com um Byte de `deltaTime`. Assim, necessitar-se-á de pelo menos dois bytes. O primeiro Byte terá o bit mais significativo setado em 1 para informar que o `deltaTime` terá mais um byte, e, no segundo byte, o bit mais significativo dele deverá ser setado em 0 para informar que o `deltaTime` acabou, ou seja, não possuirá mais Bytes.

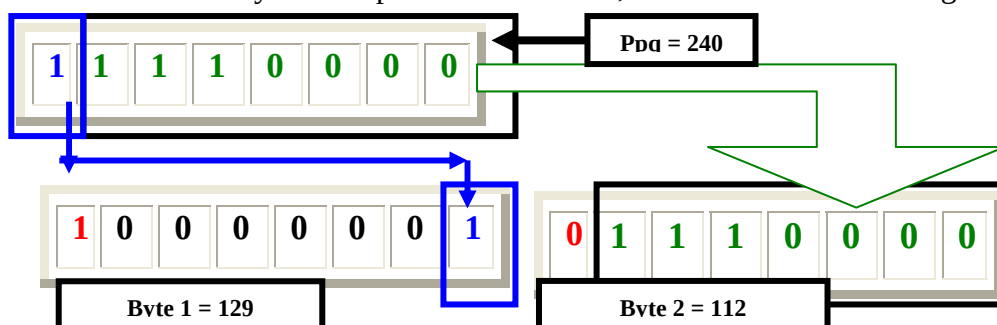
**DeltaTime – Byte 1****DeltaTime – Byte 2**

O Byte de Ppq fica da seguinte forma para um valor de **240**:

 **$Ppq = 240$**

Os Bytes de `deltaTime` serão montados utilizando os bits do Byte da ppq , ou seja, os 7 primeiros bits menos significativos da ppq vão para os sete primeiros bits menos significativos do Byte 2 e o bit mais significativo vai para o bit menos significativo do Byte 1.

Os demais bits do Byte 1 são preenchidos com 0, conforme mostrado a seguir:

**Diagrama 2.8 – Cálculo da $Ppq \rightarrow Ppq = 240$**

Assim, o Byte de **ppq** = **240** fica:



E os dois Bytes de **deltaTime** ficam:



Byte 1 = 129



Byte 2 = 112

Maiores detalhes podem ser vistos na dissertação de mestrado de Machado [19] e de Lopes [22].

2.3.3.5 Os arquivos SMF padrões

A construção dos Standard MIDI Files (SMF) está centrada na estrutura da máquina MIDI, ou seja, no cálculo correto dos **deltaTimes** através da **ppq** escolhida. Todos os cálculos, conforme já afirmado, são baseados no tempo de uma semínima (existe uma mensagem que permite informar o tempo de uma semínima em micro segundos).

SMF Formato 0 e Formato 1: diferença básica

A diferença básica entre os formatos 0 e 1 é que no formato 0 todas as notas de todos os canais são registradas no arquivo SMF em apenas um *track*. No formato 1, cada canal MIDI é registrado no arquivo SMF em um *track* independente.

2.3.3.6 O Arquivo MIDI SMF

Tanto o arquivo SMF formato 0 quanto o formato 1 possuem um cabeçalho contendo os parâmetros musicais necessários para a grafia da música no formato MIDI, bem como algumas informações sintáticas do arquivo. A seguir, é apresentada a estrutura dos arquivos SMF contendo as informações mínimas necessárias para o entendimento da

hierarquia da mesma e a formatação dos SMF. Os códigos de status e dados são apresentados em hexadecimal para facilitar a visualização dos mesmos.

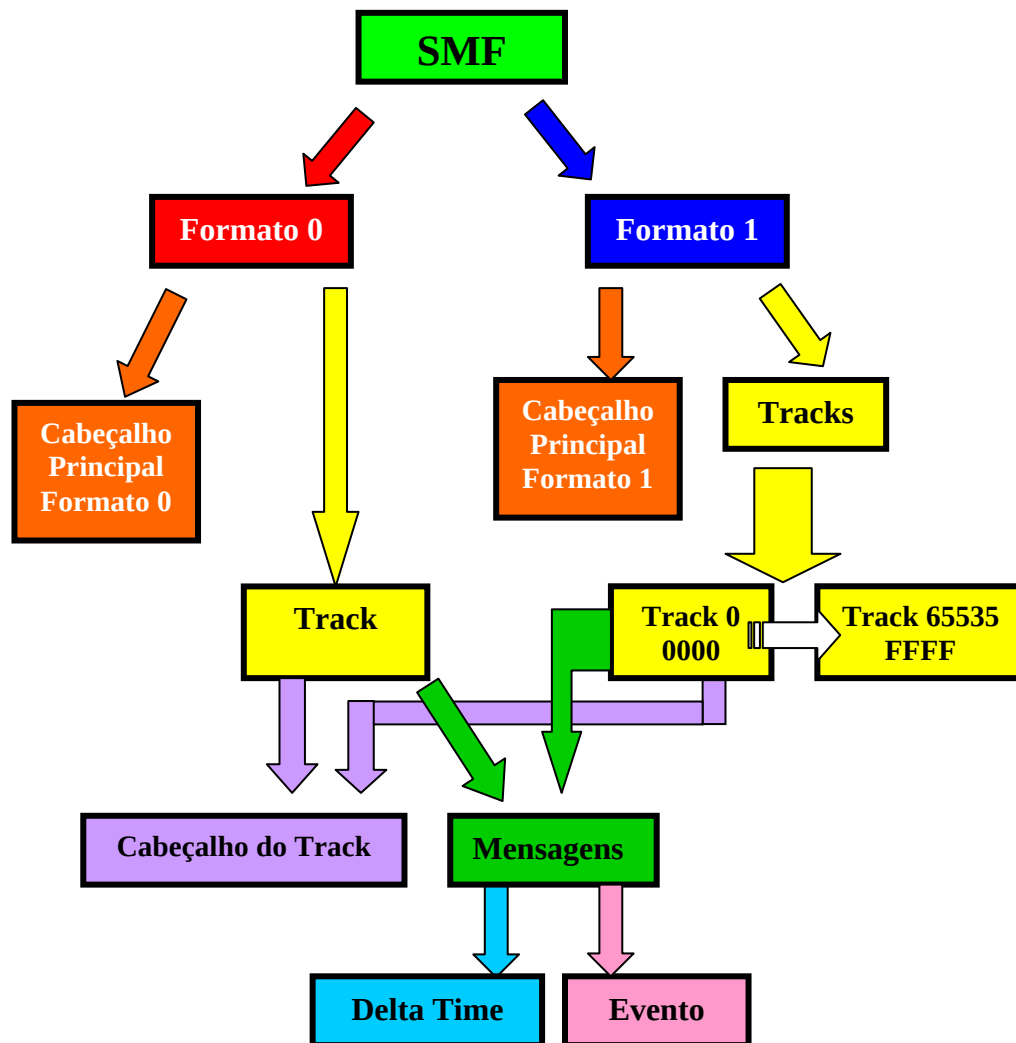


Diagrama 2.9 – Estrutura dos arquivos SMF

Cabeçalho Principal

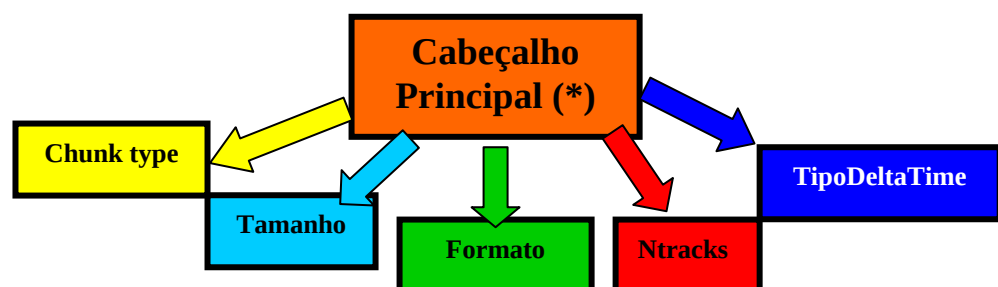


Diagrama 2.10 – Estrutura dos arquivos SMF -> Cabeçalho Principal

(*) – Uma diferença entre o formato 0 e o 1, no **Cabeçalho Principal**, está no campo **Formato**, como pode ser visto na tabela a seguir. Pode-se perceber que o tipo de

formato é definido por dois bytes, permitindo que novos formatos possam ser criados, até o limite de 65.536 (de 00 00 a FF FF) . Outros formatos foram idealizados inicialmente, tal como o formato 2, mas, com o tempo, chegou-se à conclusão de que apenas os formatos 0 e 1 são suficientes para as aplicações existentes.

- Outra diferença está no campo **Ntracks**, onde, no formato 0, sempre será 0001, ou seja, o formato 0 só possui um *track* para registrar as mensagens de todos os canais MIDI, enquanto, no formato 1, pode-se ter até 65.536 *tracks* (de 00 00 a FF FF).

Chunk type	:	4 bytes: Mthd = 4D 54 68 64.
Tamanho	:	Tamanho do Cabeçalho Principal: 6 bytes, sendo 2 bytes para indicar o Formato, 2 bytes para indicar Número de <i>Tracks</i> , 2 bytes para indicar o Tipo de DeltaTime.
Formato	:	Indica o Formato com 2 bytes.: Formato 0 = 00 00, Formato 1 = 00 01
Ntracks	:	Número de <i>Tracks</i> da música, sendo um <i>track</i> para cada canal MIDI e mais um para as configurações (metrônomo, armadura de clave, fórmula de compasso, etc). Possui 2 bytes.
TipoDeltaTime	:	Indica o Tipo de DeltaTime. Possui 2 bytes. Se o bit mais significativo for 0 (zero) o DeltaTime será do tipo ppq. Se o bit mais significativo for 1 será do tipo SMPTE.

Tabela 2.1 – Informações mínimas necessárias de um arquivo MIDI SMF -> Cabeçalho Principal

Cabeçalho dos Tracks

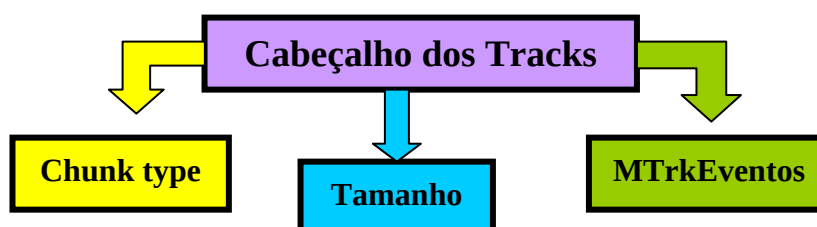


Diagrama 2.11 – Estrutura dos arquivos SMF -> Cabeçalho dos Tracks

Chunk type	:	4 bytes: Mtrk = 4D 54 72 6B.
-------------------	---	------------------------------

Tamanho	:	Possui 4 bytes. Indica a soma de todos os bytes do <i>track</i> , incluindo os 3 bytes indicativos do fim do <i>track</i> : FF 2F 00.
----------------	---	---

MtrkEventos	:	DeltaTime	Eventos
DeltaTime	:	Possui de 1 a 4 bytes. Indica quanto tempo o dispositivo, que está lendo e executando o arquivo MIDI, deverá esperar para iniciar a execução do evento que o segue.	

Eventos	:	EventosMIDI	EventosSysex	MetaEventos
EventosMIDI	:	A quantidade de bytes dependerá do tamanho do arquivo. Evento MIDI é qualquer mensagem de canal, ou seja, eventos de notas e os controles aplicados à elas.		
EventosSysex	:	F0 _H	Tamanho	BytesTrans
	:	São eventos utilizados para mandar mensagens exclusivas para um determinado equipamento.		
Tamanho	:	O número de bytes dependerá do tamanho do Evento Sysex		
BytesTrans	:	São os Bytes Transmitidos pelo Evento Sysex. Deverá terminar com o byte F7 _H .		
MetaEventos	:	Tipo	Tamanho	Texto
	:	São eventos não-MIDI contendo informações úteis, e necessárias para os equipamentos que executarão os eventos MIDI. Um Meta-Evento inicia-se com o byte FF. Os equipamentos que não reconhecem todos os tipos de Meta-Eventos devem ignorá-los sem emitir mensagem de erro.		
Tipo	:	A quantidade de bytes dependerá do tipo de Meta-Evento. Os principais são: FF 51 = Set Tempo (Metrônomo). Possui 3 bytes. FF 58 = Fórmula de Compasso (Time Signature). Possui 4 bytes FF 59 = Armadura de Clave (Key signature). Possui 2 bytes. FF 2F = Fim de <i>Track</i> .		

		FF 01 = Texto. A quantidade de bytes varia de acordo com o texto. FF 04 = Nome do Instrumento. A quantidade de bytes varia de acordo com o instrumento. FF 05 = Letra da Música. A quantidade de bytes varia de acordo com o tamanho da letra. FF 06 = Marcas. A quantidade de bytes é variável.
Texto	:	A quantidade de bytes varia de acordo com o texto.
Fim de Track	:	FF 2F 00

Tabela 2.2 – *Informações mínimas necessárias de um arquivo MIDI SMF -> Cabeçalho dos Tracks*

Os arquivos MIDI apresentam uma solução compacta para armazenamento de uma música. O grande problema na sua utilização na implementação de sistemas de análise reside no fato de que a maioria destas informações não estarem explicitamente registradas nos mesmos conforme teoria musical, carecendo o programador de implementar sistemas de reconhecimento das estruturas musicais, tais como: duração de notas, tonalidade, metrônomo, divisão de compassos e outros mais.

Capítulo 3

Conceitos e Teoria Musical Básica

A música possui conceitos e sintaxe que a difere radicalmente de outras áreas do conhecimento, principalmente por trabalhar com um paradigma que exige uma grande abstração de quem pretende trabalhar em seu vasto domínio. Neste capítulo serão abordados os principais conceitos, termos e definições necessários para um melhor entendimento dos objetivos desta dissertação, bem como das soluções idealizadas para solucionar as metas descritas no capítulo 1. Assim, a seguir são apresentados os conceitos fundamentais deste domínio, partindo dos mais simples aos mais complexos pertinentes ao domínio deste trabalho.

3.1 Notas Musicais

Quando um músico provoca um movimento, por exemplo, em uma corda de um violão, a mesma produz um determinado som. Dependendo da velocidade com que esta corda vibra, sentimos uma sensação sonora diferente. Quanto mais fina a corda for e quanto mais esticada ela estiver, mais agudo é o som gerado, e, conseqüentemente, quanto mais frouxa a corda e quanto mais grossa ela for, mais grave será o som gerado. Percebe-se, nestes exemplos, que as frequências¹ de cada som gerado, são diferentes.

¹ Frequência: variação de movimento de determinado dispositivo físico por um período de tempo. A frequência é medida em Hertz (Hz), ou seja, número de variações, vibrações, de movimentos, por segundo.

O ser humano, analogamente, produz sons através da passagem do ar por suas cordas vocais (tecnicamente denominadas de pregas vocais) fazendo-as vibrarem ao passar pelas mesmas (as cordas) gerando um determinado som. Na formação do som, além da vibração das cordas vocais pela passagem do ar, participam a anatomia humana, servindo de caixa de ressonância (vibração) a cavidade bucal, nasal, palato, língua, dentes, lábios e outros órgãos por onde o ar em vibração passará. A figura 3.1 mostra os pontos principais do aparelho fonador humano responsáveis pela geração do som após o ar ser expelido (expirado) pelo pulmão. A formação do som e explicação de como os fonemas são diferenciados pelos órgão são citados na figura 3.1, onde maiores detalhes poderão ser vistos no adendo 1.

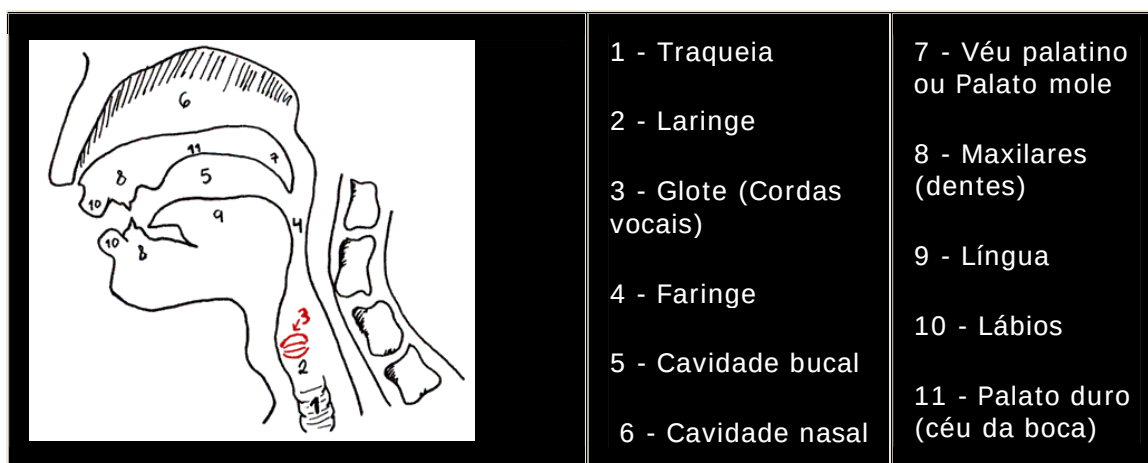


Figura 3.1 – Aparelho Fonador humano

A voz feminina é mais aguda do que a masculina devido às cordas vocais das mulheres serem menores, e, portando, vibram mais rápido. As cordas vocais dos homens, por analogia, são maiores, produzindo sons mais graves (vibram mais devagar). Observe a figura a seguir:

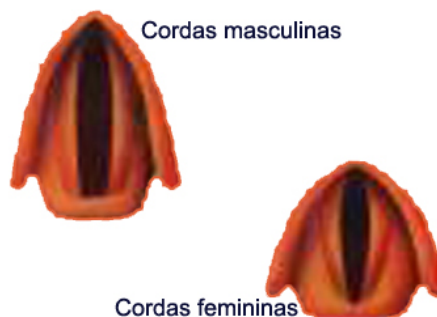


Figura 3.2 – Cordas (Pregas) Vocais Masculinas e femininas

3.1.1 A Escala bem temperada

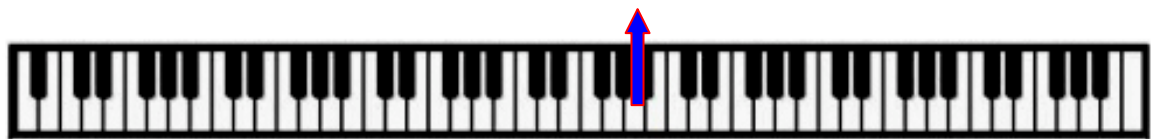
A partir do século XVIII, através do músico J.S.Bach, institui-se uma padronização para os sons produzidos por instrumentos musicais, adotando-se uma afinação padrão de onde gera-se uma escala² chamada de: **Escala Bem Temperada** [24]. Cada som nesta escala ou, cada frequência de som desta escala, é denominado de Nota Musical.

Existem basicamente sete nomes de notas musicais, a saber:

Dó, Ré, Mi, Fá, Sol, Lá e Si

Cada uma destas notas musicais possui, assim, uma frequência diferente e determinada. Uma destas notas foi adotada como frequência de referência, denominada de diapasão. Esta nota musical, diapasão, é a nota musical **Lá**, cuja frequência de vibração é de 440 Hertz.

Para localizá-la em um piano, basta saber que a mesma está aproximadamente no meio do teclado deste, sendo a 49ª nota deste teclado, conforme mostra a figura 3.3.

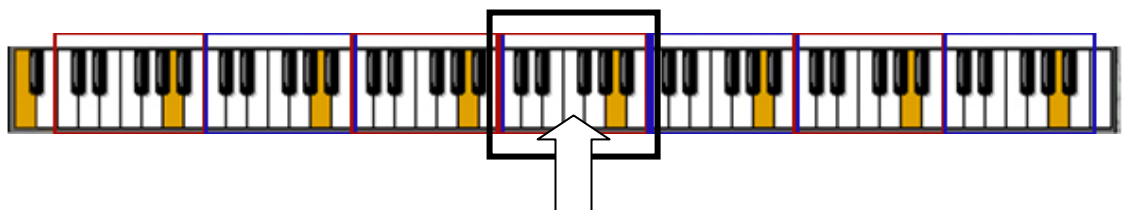


Lá central do piano = Lá 440Hz

Figura 3.3 - Teclado de um piano com a nota lá 440hz

3.1.2 Oitavas

Ao se observar este teclado de piano, percebe-se que existe um padrão, um conjunto de 12 teclas, que se repetem várias vezes. A este conjunto de doze teclas denomina-se de oitava, conforme pode ser visto na figura 3.4.



Oitava do Lá diapasão de 440 Hz

Figura 3.4 – Oitavas Musicais

² Escala musical - conjunto de sons de frequências determinadas

Na figura 3.4 percebe-se que várias teclas foram marcadas. As mesmas correspondem, em cada oitava, à 10ª tecla de cada uma. O motivo deste desenho, deste arranjo de teclas existir nesta escala temperada, é devido ao fato de que o som produzido³ por cada uma das notas musicais soa semelhante (varia apenas em altura : ou é mais grave ou mais agudo).

3.1.2.1 Numeração das oitavas e relação entre suas frequências

As notas em cada oitava possuem o mesmo nome, sendo diferenciadas apenas por um índice representativo de sua oitava.

No sistema adotado no Brasil, nomeia-se o Lá diapasão de 440Hz por Lá3, e desta forma, o Lá da oitava anterior seria o Lá 2 e o da posterior o Lá 4, conforme mostrado na figura 3.5.



Figura 3.5 – Numeração das oitavas

Esta sensação, de serem as notas iguais, se dá devido ao fato de que a cada oitava na escala bem temperada, notas de mesmo nome possuem frequências múltiplas da escala anterior, pelo fator de 2, ou seja: as notas de mesmo nome de uma oitava conseqüente de outra possuem o dobro da frequência da mesma, e, da oitava anterior, a metade, conforme pode ser visto na figura 3.6.

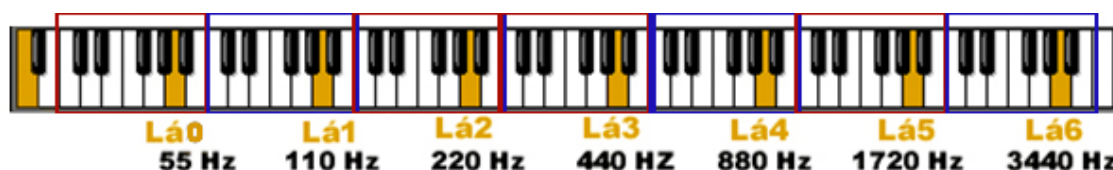


Figura 3.6 – Numeração das notas com suas frequências múltiplas pelo fator de 2

³ Som produzido no piano – o mesmo é produzido pela percussão de um martelo, acionado por uma das teclas do piano, em uma determinada corda, pré-afinada na frequência da nota correspondente.

3.1.3 Regra de geração das freqüências das notas musicais na escala bem temperada

Os valores das freqüências das notas musicais de cada oitava na escala bem temperada obedecem a seguinte regra:

- A freqüência de uma determinada nota musical é dada pelo valor da freqüência da nota anterior multiplicado pelo fator $2^{(1/12)}$.

Partindo de uma nota cuja freqüência é conhecida, como, por exemplo, Lá3 diapasão (440Hz), tem-se que a próxima nota musical terá freqüência igual à do Lá3 multiplicado por $2^{(1/12)} = (1.0594630)$.

Para exemplificar, observe que a nota musical Lá3 possui uma freqüência igual a 440hz e, portanto, a freqüência da nota musical Lá4 (**fLá4**) possuirá:

$$\text{fLá4} = \text{fLá3} \times 2^{(1/12)} \times 2^{(1/12)} \times 2^{(1/12)} \times 2^{(1/12)} \times 2^{(1/12)} \times 2^{(1/12)} \times 2^{(1/12)} \times 2^{(1/12)} \times 2^{(1/12)} \times 2^{(1/12)} \times 2^{(1/12)} \times 2^{(1/12)} \times 2^{(1/12)} \times 2^{(1/12)} \times 2^{(1/12)} \quad (\text{o Lá4 está doze notas após o Lá3})$$

Ou seja:

$$\text{fLá4} = \text{fLá3} \times 2^{(1/12) \times 12}$$

$$\rightarrow \text{fLá4} = \text{fLá3} \times 2^1$$

ou seja, **fLá4** = 2 x **fLá3** -> fLá4 possui o dobro da freqüência de Lá3

3.1.4 Nomenclatura utilizada para as notas musicais, sustenidos e bemóis

Cada nota musical pode ser também denominada por uma letra. A tabela a seguir mostra os nomes das notas e as letras correspondentes nas nomenclaturas européia* e americana:

* Na nomenclatura alemã, a nota musical **Si** é representada pela letra **H**, no lugar da letra **B**.

Nome	Letra
Dó	C
Ré	D
Mi	E
Fá	F
Sol	G
Lá	A
Si	B

Tabela 3.1 - Nome das notas com suas respectivas letras

A figura a seguir mostra um trecho do teclado do piano com as teclas e seus nomes.

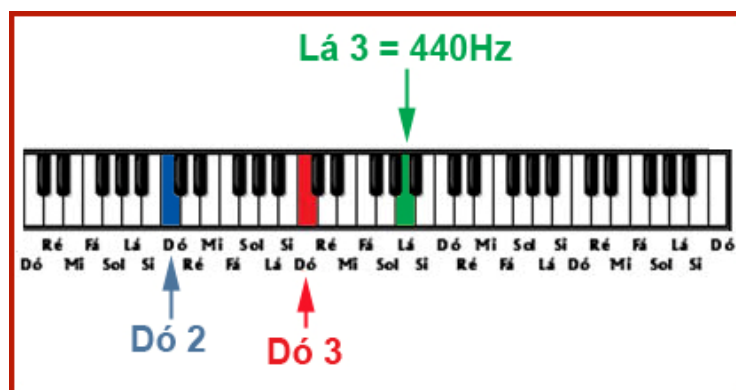


Figura 3.7 – Notas Musicais e suas denominações

Na figura 3.7 observa-se que apenas as teclas brancas do teclado do piano foram nomeadas, mas, em cada oitava, ainda existem 5 teclas (pretas) sem nome.

Estas teclas recebem o mesmo nome das teclas brancas que as precedem ou das que vêm após, acrescentadas de um símbolo, ou seja:

- uma tecla preta possui o nome da tecla (nota) anterior seguido do sinal # (lê-se sustenido), ou
- uma tecla preta possui o nome da tecla (nota) seguinte acrescentado o símbolo b (bemol).

A figura 3.8 mostra o teclado do piano com as teclas nomeadas utilizando letras para nomeá-las.



Figura 3.8 - Teclas nomeadas com os símbolos (# ou b) acrescentados

Assim, observe o seguinte exemplo:

Após qualquer nota musical Dó (C), tem-se uma tecla preta. Esta tecla possuirá o nome da nota musical em questão, ou seja: como ela é uma nota (tecla) após a nota Dó, a mesma poderá ser chamada de Dó# (C#) – dó sustenido. Por outro lado, esta mesma tecla (nota) está localizada uma tecla (nota) abaixo da nota Ré (D), e, desta forma, poderá ser chamada de Réb (Db) – ré bemol.

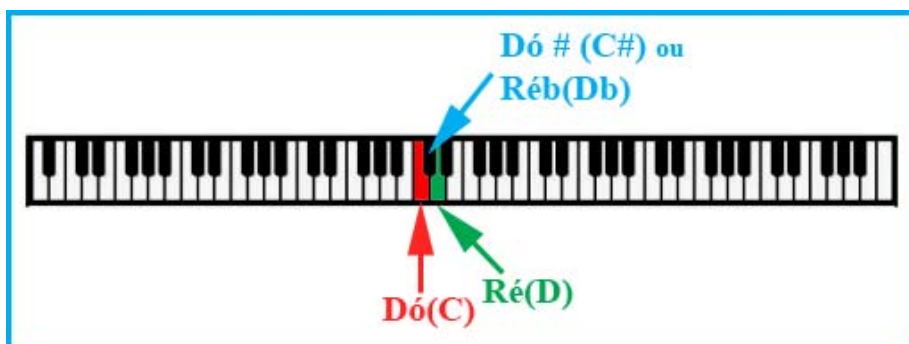


Figura 3.9 – Nomeação da nota Dó (C) em relação aos sustenidos e bemóis: Dó# (C#) ou Réb (Db)

3.1.5 Notas musicais e suas respectivas frequências

A partir da regra básica de determinação da frequência das notas musicais na escala bem temperada, pode-se obter todos os valores dentro da faixa do espectro audível pelo ser humano (entre 20 Hz e 22KHz).

Notas musicais	Frequências
re#-1	19.4454 Hz
mi-1	20.6017 Hz
fa-1	21.8267 Hz
fa#-1	23.1246 Hz
sol1	24.4997 Hz
sol#-1	25.9565 Hz
la-1	27.50000 Hz
la#-1	29.1352 Hz
si-1	30.8677 Hz
do0	32,7032 Hz
do#0(reb0)	34,6478 Hz
re0	36,708 Hz
re#0(mib0)	38,8908 Hz
mi0	41,2034 Hz
fa0	43,6536 Hz
fa#0(solb0)	46,2494 Hz
sol0	48,9994 Hz
sol#0(lab0)	51,913 Hz
la0	55 Hz
la#0(sib0)	58,2704 Hz
si0	61,7354 Hz
do1	65,4064 Hz
do#1(reb1)	69,2956 Hz
re1	73,4162 Hz
re#1(mib1)	77,7818 Hz
mi1	82,4068 Hz

fa1	87,307 Hz
fa#1(solb1)	92,4986 Hz
sol1	97,9988 Hz
sol#1(lab1)	103,8262 Hz
la1	110 Hz
la#1(sib0)	116,541 Hz
si1	123,4708 Hz
do2	130,8128 Hz
do#2(reb2)	138,5914 Hz
re2	146,8324 Hz
re#2(mib2)	155,5634 Hz
mi2	164,8138 Hz
fa2	174,6142 Hz
fa#2(solb2)	184,9972 Hz
sol2	195,9978 Hz
sol#2(lab2)	207,6524 Hz
la2	220 Hz
la#2(sib0)	233,0818 Hz
si2	246,9416 Hz
do3 (dó central do piano)	261,6256 Hz
do#3(reb3)	277,1826 Hz
re3	293,6648 Hz
re#3(mib3)	311,127 Hz
mi3	329,6276 Hz
fa3	349,2282 Hz
fa#3(solb3)	369,9944 Hz
sol3	391,9954 Hz

sol#3(lab3)	415,3046 Hz
La3 (diapasão)	440 Hz
la#3(sib0)	466,1638 Hz
si3	493,8834 Hz
do4	523,2512 Hz
do#4(reb4)	554,3652 Hz
re4	587,3296 Hz
re#4(mib4)	622,254 Hz
mi4	659,2552 Hz
fa4	698,4564 Hz
fa#4(solb4)	739,9888 Hz
sol4	783,9908 Hz
sol#4(lab4)	830,6094 Hz
la4	880 Hz
la#4(sib0)	932,3276 Hz
si4	987,7666 Hz
do5	1046,5022 Hz
do#5(reb5)	1108,7306 Hz
re5	1174,659 Hz
re#5(mib5)	1244,508 Hz
mi5	1318,5102 Hz
fa5	1396,913 Hz
fa#5(solb5)	1479,9776 Hz
sol5	1567,9818 Hz
sol#5(lab5)	1661,2188 Hz
la5	1760 Hz
la#5(sib0)	1864,655 Hz

si5	1975,5332 Hz
do6	2093,0046 Hz
do#6(reb6)	2217,461 Hz
re6	2349,3182 Hz
re#6(mib6)	2489,0158 Hz
mi6	2637,0204 Hz
fa6	2793,8258 Hz
fa#6(solb6)	2959,9554 Hz
sol6	3135,9634 Hz
sol#6(lab6)	3322,4376 Hz
la6	3520 Hz
la#6(sib0)	3729,31 Hz
si6	3951,0664 Hz
do7	4186,009 Hz
do#7(reb7)	4434,922 Hz
re7	4698,6362 Hz
re#7(mib7)	4978,0318 Hz
mi7	41,2034 Hz
fa7	5587,6518 Hz
fa#7(solb7)	5919,9108 Hz
sol7	6271,927 Hz
sol#7(lab7)	6644,8752 Hz
la7	7040 Hz
la#7(sib0)	7458,6202 Hz
si7	7902,1328 Hz
do8	8372,018 Hz
do#8(reb8)	8869,8442 Hz
re8	9397,2726 Hz

re#8(mib8)	9956,0634 Hz
mi8	10548,0818 Hz
fa8	11175,3034 Hz
fa#8(solb8)	11839,8216 Hz
sol8	12543,854 Hz
sol#8(lab8)	13289,7504 Hz
la8	14080 Hz
la#8(sib0)	14917,2404 Hz
si8	15804,2656 Hz
do9	16744,0362 Hz
do#9(reb9)	17739,6884 Hz
re9	18794,5452 Hz
Re#9(mib9)	19912,127 Hz
mi9	21096,1636 Hz
fa9	22350,6068 Hz

Tabela 3.2 – Notas Musicais e suas respectivas frequências

3.2 Timbre

Ao se escutar uma flauta, um violão, um piano ou diferentes tipos de vozes cantando, o indivíduo é capaz de diferenciar cada um deles. Isso se deve ao fato de cada um deles possuir uma qualidade de som diferenciada a qual denominamos de **Timbre**. Tanto os instrumentos musicais quanto os diversos tipos de vozes possuem timbres específicos que nos permitem diferenciá-los.

Tecnicamente, o **Timbre** de cada instrumento é formado pelo seu conteúdo harmônico (espectro de frequências) e pelo envelope sonoro das notas musicais que ele emite. Como exemplo, tem-se a seguinte afirmação no livro do Sound Forge 8.0:

“(...) podemos perceber facilmente a modificação do timbre do instrumento original. (...) se cortarmos as frequências das notas de uma flauta transversal acima de 12.000 Hz, perderemos a percepção do sopro produzido pelo intérprete. Isso faz com que o som seja mais puro, mas o torna irreal, artificial, mais eletrônico.”
(LIMA; MACHADO; PINTO, 2005, p.204)

Essa afirmação mostra a importância do espectro de frequências na formação do timbre. A outra afirmação retirada do mesmo livro fala da importância do envelope sonoro:

*“(...) Temos instrumentos que, após a nota ser tocada, demoram mais tempo que outros para parar de soar; temos instrumentos cujo som começa mais baixo e aumenta lentamente; com outros ocorre o inverso, enfim, possuem particularidades que determinam juntamente com as harmônicas, o timbre do instrumento.(...) podemos definir estas características como **envelope sonoro** que é composto de: **ADSR** – **Attack**, **Decay**, **Sustain** e **Release**.”*
(LIMA; MACHADO; PINTO, 2005, p.205)

Pode-se definir melhor o **ADSR**:

Attack: Tempo no qual o volume chega ao pico máximo;

Decay: tempo no qual o volume chega ao nível normal;

Sustain: tempo em que o volume se mantém estável;

Release: Tempo em que o volume passa do nível normal ao mudo.

Os três exemplos a seguir ilustram a importância do envelope sonoro, composto de regiões de ADSR. Ele é um dos elementos responsáveis pela diferenciação timbral dos instrumentos musicais, já que cada instrumento possui **Ataque** (Attack), **Decaimento** (Decay), **Sustentação** (Sustain) e **Término** (Release) diferentes ao entoar uma nota ou uma melodia.

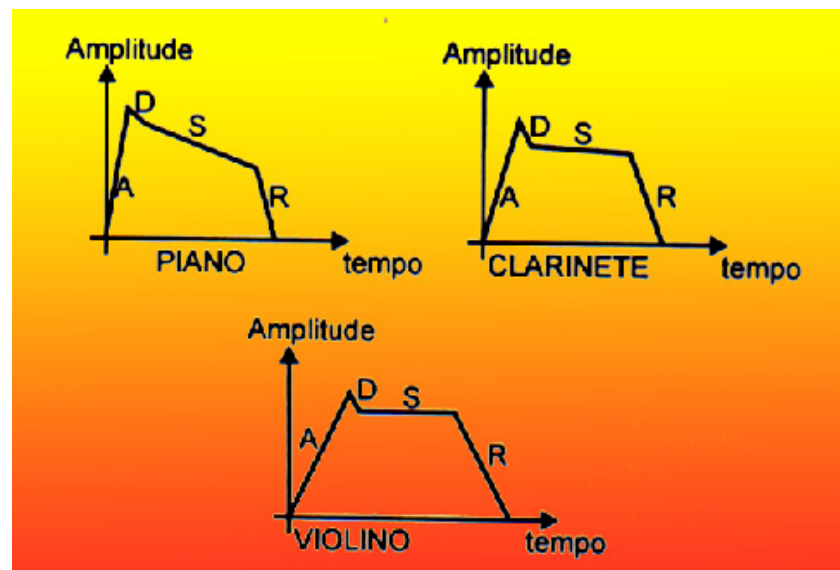


Figura 3.10 – Envelope sonoro de três instrumentos musicais: Piano, Clarinete e Violino.

3.3 Extensão Vocal ou Instrumental

A extensão vocal ou instrumental corresponde a todas as notas que uma pessoa ou instrumento musical consegue emitir. Estas notas não precisam ser emitidas necessariamente com qualidade vocal ou instrumental.

Na figura a seguir é ilustrado, em um teclado de piano, um exemplo de uma pessoa com alcance vocal de dezoito notas.



Figura 3.11 – Extensão vocal de um indivíduo qualquer (notas alcançadas sem total qualidade vocal)

Alguns instrumentos musicais possuem a capacidade de geração de um range de notas maior que sua tessitura, ou seja, geram notas musicais que não possuem um timbre agradável ou descaracterizado do instrumento. O mesmo acontece com o ser humano: nem todas as frequências, notas musicais, produzidas pelo aparelho fonador são agradáveis, de qualidade timbral, de onde conclui-se que o range vocal é geralmente maior que a tessitura vocal de um instrumento ou cantor.

A seguir é mostrado como exemplo a diferença entre o range de um Clarinete Alto (Clarone) e sua respectiva tessitura.

- **Range** de Sol 1 a Lá^b4
- **Tessitura** de Sol 1 a Fá 4

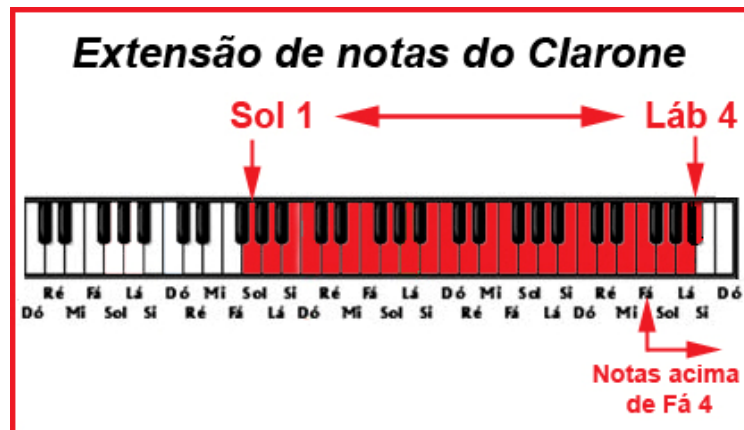


Figura 3.12 – Clarinete Alto em Mi Bemol⁴ com sua respectiva extensão de notas⁵

3.4 Tessitura ou *Vocal Range*

Sob o ponto de vista da voz humana, a Tessitura é a extensão vocal ou musical de um cantor onde o som produzido é emitido com qualidade, sem que o indivíduo desafine ou force a sua voz de uma maneira indesejada. A tessitura vocal de um indivíduo é analisada por um especialista quando o mesmo vai identificar a classificação vocal (*vocal type*) de um determinado cantor. Assim, como existem pessoas com características e extensão vocais diferentes, existem, também, diversas classificações vocais para identificar cada tipo de cantor.

Observe o exemplo a seguir que apresenta dois tipos de tessitura vocal, uma com extensão vocal maior que a outra, determinada por um profissional (especialista em canto ou um fonoaudiólogo). Isto não significa que a voz de um cantor seja melhor que a do outro, apenas que um alcança mais notas que o outro. Como está se tratando de tessituras, os dois cantores cantarão agradavelmente em suas respectivas tessituras. Caberá ao ouvinte humano julgar qual voz é melhor, ou qual mais lhe agrada.

⁴ Clarinete Alto em Mi Bemol⁴ - denominado de Clarone, no Brasil.

⁵ Extensão de notas do Clarone - “As notas acima de Fá4 são de difícil acesso e de timbre desagradável” (LIMA,1958, p.23).

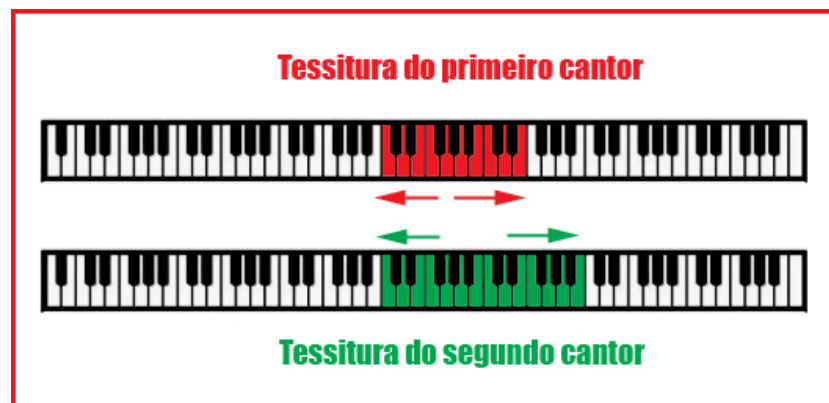


Figura 3.13 – Tessituras vocais de dois indivíduos sendo que o segundo possui um alcance vocal de sete notas acima

3.5 Classificação Vocal ou *Vocal Type*

3.5.1 O porquê de se classificar as vozes

Cantar e não conseguir alcançar as notas de uma determinada música é um problema que causa sérios transtornos a um cantor, principalmente aos profissionais. Muitas vezes isto se dá devido ao fato do cantor estar cantando fora de sua tonalidade de conforto. Para evitar que isto ocorra, é importante que o cantor conheça sua **classificação vocal**⁶, e que, conhecendo-a, converta, transponha, todas músicas de seu repertório para a tonalidade adequada à sua qualificação.

3.5.2 Classificação Vocal (Em inglês: *Vocal Type*)

É a extensão de notas que alguém consegue emitir confortavelmente e com qualidade, dentro de uma determinada região musical (grave ou aguda). A classificação vocal deve ser feita por um profissional da área, o qual avaliará o cantor através de testes padrões de emissão de notas, precedidos de exercícios vocais (vocalizes) que preparem a voz do cantor para produzir o maior range possível, com a maior qualidade também..

⁶ Classificação Vocal – naipes vocais característicos de cada pessoa, classificados de acordo com o alcance das notas a serem emitidas de uma maneira agradável, e de exercícios vocais. Exemplo: Existem pessoas que alcançam regiões mais agudas, outras pessoas alcançam regiões mais graves.

A classificação vocal é diferente para os homens e para as mulheres pois ambos alcançam regiões musicais diferentes. Normalmente as mulheres alcançam regiões musicais mais agudas e, os homens, regiões mais graves.

Existem três classificações vocais básicas (fundamentais) para homens e mulheres:

HOMENS	MULHERES
Baixo (Voz Grave)	Contralto (Voz Grave)
Barítono (Voz Média – entre o Baixo e o Tenor)	Meio-Soprano ou Mezzo-Soprano (Voz Média – entre o Contralto e o Soprano)
Tenor (Voz Aguda)	Soprano (Voz Aguda)

Tabela 3.3 – Classificação Vocal Básica Masculina e Feminina⁷

Para se entender melhor essa classificação, observe, em um teclado de piano, algumas ilustrações de classificações em um teclado de piano.

Classificação Masculina:



Figura 3.14 – Extensão de notas alcançadas com qualidade pelo Baixo masculino (Tessitura - Fá1 a Mi3)

⁷ Classificação vocal masculina e feminina – (ver Referências - numeração [26]).

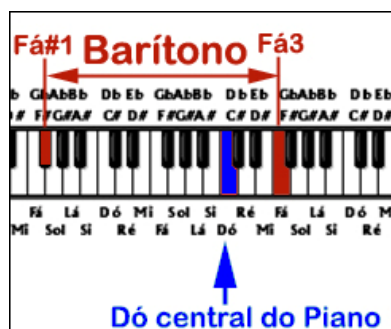


Figura 3.15 – Extensão de notas alcançadas com qualidade pelo Barítono (Tessitura - Fá#1 a Fá3)



Figura 3.16 – Extensão de notas alcançadas com qualidade pelo Tenor (Tessitura - Dó2 a Sol#3)

Classificação Feminina:



Figura 3.17 – Extensão de notas alcançadas com qualidade pela Contralto (Tessitura - Fá2 a Mi4)

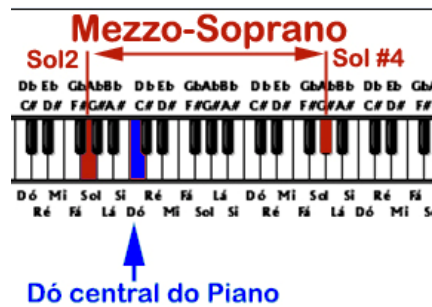


Figura 3.18 – Extensão de notas alcançadas com qualidade pela Mezzo-Soprano (Tessitura - Sol2 a Sol#4)



Figura 3.19 – Extensão de notas alcançadas com qualidade pela Soprano (Tessitura - Dó3 a Lá4)

- **Observações:**

A classificação das vozes é diversificada (sem padronização), variando de autor para autor, entre profissionais do canto e entre escolas. A classificação adotada nessa dissertação segue a tendência da maioria dos programas de edição de música por computador, programas estes consagrados em todo o mundo, tais como: Sibelius[14], Finale[13], Band-in-a-Box [12] e outros mais.

3.6 A importância da identificação da tonalidade ideal de um cantor, além de sua classificação vocal

Identificando-se a tessitura de um cantor pode-se determinar sua classificação vocal. A grosso modo, pode-se perceber onde os limites da tessitura do cantor quando o mesmo começa a forçar a voz ou quando o som da mesma se torna desagradável, desafinado (não produzindo notas musicais de acordo com suas frequências).

Quando o indivíduo canta juntamente com uma melodia de um CD, rádio e outros, e força a sua voz, desafinando ou não, diz-se que ele está cantando fora de sua tonalidade, fora de sua classificação vocal. Quando isto ocorre, o mesmo estará desagradando o público ouvinte, assim como estará correndo o risco de causar danos às suas cordas vocais.

Dessa forma, antes de iniciar um canto, o cantor deverá cantar a nota mais grave e a mais aguda da música e verificar se o range está dentro de sua tonalidade de conforto. Caso isto não ocorra, deve-se eliminar a peça musical de seu repertório, ou, melhor, transpô-la para sua tonalidade.

3.6.1 Conceito de Tonalidade

Uma tonalidade, de uma forma macroscópica, é um conjunto de notas musicais que soam agradavelmente quando tocadas em seqüência ou simultaneamente.

Ela é formada por um conjunto de notas de mesmo nome, podendo estas notas pertencer a qualquer oitava musical.

Cada tipo de tonalidade possui uma regra de formação para determinação do conjunto de notas musicais que pertencem à mesma.

O conjunto de notas de uma tonalidade se inicia por uma nota musical cujo nome é o mesmo da tonalidade, seguida por novas notas distanciadas das precedentes conforme a regra desta tonalidade.

Para que se possa entender estas “distâncias”, é necessário que se conceitue o que é a distância de **um tom** e a distância de um **semitom** (meio tom).

Para facilitar, serão ilustrados estes conceitos pela observação de um teclado de um piano.

Distância de um semitom (meio-tom)

Uma nota musical está distanciada de outra por um semitom quando ela é a próxima nota ou a nota anterior a uma determinada nota. Em um teclado de piano pode-se dizer que um semitom é a distância entre uma tecla e outra adjacente.

Observe a figura 3.20 onde se tem exemplos da distância de um semitom.

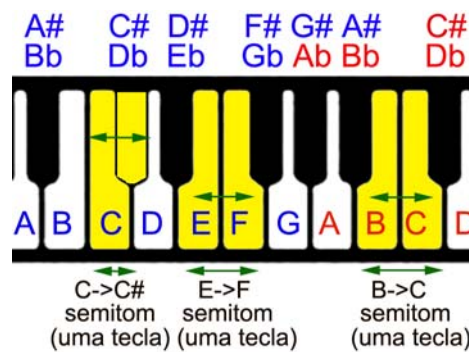


Figura 3.20 – Distância de um semitom

Distância de um tom

Uma nota musical está distanciada de outra por um tom quando ela é a segunda nota antes ou após uma determinada nota. Ou seja, para se ter a distância de um tom entre duas notas musicais, deve-se ter uma nota musical entre elas. Em um teclado de piano pode-se dizer que um tom é a distância entre duas teclas adjacentes separadas por uma outra tecla, seja esta preta ou branca. Para tornar mais clara esta explicação, observe a figura 3.21 onde são apresentados exemplos da distância de um tom.

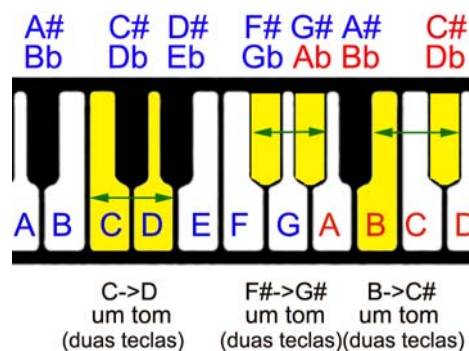


Figura 3.21 – Distância de um tom

Observe que entre as notas **C** e **D** existe uma tecla (uma nota) preta (**C#**), entre as notas **F#** e **G#** existe uma tecla correspondente à nota **G**, e, entre as notas **B** e **C#** existe a nota **C**.

3.6.2 Tipos de tonalidade

A seguir é mostrado, como exemplo, duas das principais tonalidades: a tonalidade maior e a menor natural.

3.6.2.1 Tonalidade maior

A tonalidade maior apresenta uma seqüência de notas com uma distância determinada entre elas, repetindo esta seqüência nas demais oitavas.

Observe, como exemplo, a tonalidade de dó maior e suas respectivas notas.

- **Notas da tonalidade de Dó maior = C D E F G A B** (dó, ré, mi, fá, sol, lá, si)

Observando estas notas em um teclado de piano, em uma oitava qualquer, pode-se notar que nesta tonalidade apenas são utilizadas as teclas brancas, que estão na figura salientadas em amarelo.



Figura 3.22 – Notas da Tonalidade de Dó Maior

Observe que as distâncias das notas são:

C->1 tom->**D**->1 tom->**E**->1/2 tom->**F**->1 tom->**G**->1 tom->**A**->1 tom->**B**

T

T

S

T

T

T

Diz-se que a fórmula da tonalidade maior é: **TTSTTT**, onde: **T** = tom e **S** = semitom.

- **Notas da tonalidade de Si maior**

Para se montar as notas da tonalidade de Si maior, deve-se seguir a mesma regra da de dó maior, assim como de qualquer outra tonalidade maior.

Assim, tem-se:

B->1 tom->**C**#->1 tom->**D**#->1/2 tom->**E**->1 tom->**F**#->1 tom->**G**#->1 tom->**A**#

Tonalidade de Si maior = **B C# D# E F# G# A#** (Si, Dó#,Ré#, Mi, Fá#, Sol#, Lá#)

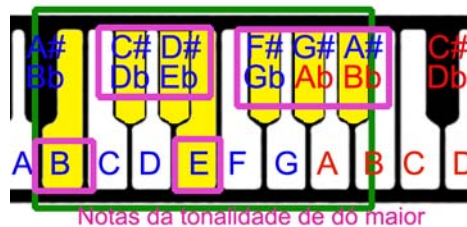


Figura 3.23 – Notas da Tonalidade de Si Maior

Qualquer outra escala maior pode ser montada facilmente obedecendo esta regra de distância.

3.6.2.2 Tonalidade menor

Existe mais de um tipo de tonalidade menor, possuindo cada uma sua respectiva regra. A tonalidade menor natural, assim como a maior já apresentada, segue uma regra para gerar uma seqüência de notas com uma distância fixa entre elas. Apesar das modificações serem mínimas, a sensação sonora percebida por um ouvinte é bem diferente quando se ouve uma escala em tonalidade maior e menor. A tonalidade menor dá uma sensação maior de paz, de tranqüilidade. A regra que vale para as notas de uma oitava, vale, também, para as demais.

Observe, como exemplo, a tonalidade de lá menor e suas respectivas notas.

- **Notas da tonalidade de lá menor natural** = A B C D E F G (lá, si, dó, ré, mi, fá, sol)

Observando estas notas em um teclado de piano, em uma oitava qualquer, pode-se notar que nesta tonalidade apenas são utilizadas, também, as teclas brancas, destacadas na figura a seguir, em amarelo.

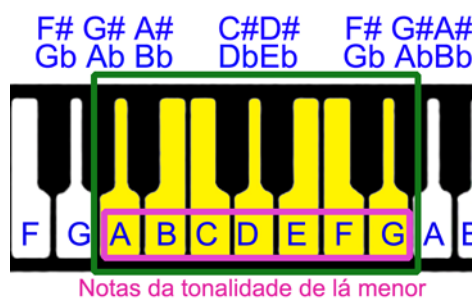


Figura 3.24 – Notas da Tonalidade de Lá Maior

Observe que as distâncias das notas são:

A->1 tom->B->1/2 tom->C->1 tom->D->1 tom->E->1/2 tom->F->1 tom->G

T S T T S T

Diz-se que a fórmula da tonalidade menor natural é: **TSTTST**, onde: **T** = tom e **S** = semitom.

- **Denominando todas as notas a partir de uma tonalidade**

Foi visto que cada tonalidade possui sete notas musicais básicas. Cada nota desta tonalidade passa a possuir um número de 1 a 7. No caso da tonalidade de dó maior ter-se-ia:

NÚMERO	1	2	3	4	5	6	7
NOTA	C	D	E	F	G	A	B

Tabela 3.4 – Notas com seus números correspondentes

Foi visto, também, que em cada oitava existem 12 notas (cinco a mais que as notas da tonalidade). Apesar destas outras cinco notas não pertencerem à tonalidade, elas podem ser utilizadas em uma música em condições especiais, conforme teoria musical de harmonia [27] [28], e, apesar disto, soarem agradavelmente. Assim, tais notas também carecem de uma numeração que as identifiquem na estrutura musical.

NÚMERO	1	?	2	?	3	4	?	5	?	6	?	7
NOTA	C	C# Db	D	D# Eb	E	F	F# Gb	G	G# Ab	A	A# Bb	B

Tabela 3.5 – Notas que não pertencem à tonalidade mas que podem ser utilizadas por ela

Como as notas da tonalidade já estão numeradas, as demais também ganham uma numeração especial, baseada em regras da harmonia musical, mostrada na tabela 3.6 tomando como exemplo novamente a escala de dó maior.

NÚMERO	1	2-	2	3-	3+	4	5-	5	5+	6	7 ou 7-	7+
NOTA	C	C# Db	D	D# Eb	E	F	F# Gb	G	G# Ab	A	A# Bb	B

Tabela 3.6 – Numeração especial das notas fora da tonalidade

Assim, mantém-se a numeração para as notas da tonalidade, sendo a terceira nota uma das exceções, onde a terceira nota passa a existir em duas nomenclaturas 3- (terça menor) e 3+ (terça maior). Isto é feito devido ao fato de que, na tonalidade menor, utiliza-se a nota correspondente a (3-) e, na maior, a (3+), o que soa extremamente óbvio.

No caso da sétima nota, a mesma também sofre alteração de nome, para sétima menor (7-) e sétima maior (7+).

Assim, cada nota pertencente a uma tonalidade possui uma denominação especial, de acordo com a função, do contexto de cada uma. A tabela 3.2,a seguir, mostra, para qualquer tonalidade, a numeração e denominação de cada nota musical, iniciando esta numeração a partir da nota do tom. Para simplificação da mostra, apresenta-se apenas uma seqüência de 23 notas numeradas a partir da nota do tom.

T o m - 1	2 -	2	3 -	3 +	4	5 -	5	5 +	6	7 - o u 7	7 +	8	9 -	9	9 +	1 0	1 1	1 1 +	1 2	1 2 +	1 3
A	A #	B	C	C #	D	D #	E	F	F #	G	G #	A	A #	B	C	C #	D	D #	E	F	F #
A #	B	C	C #	D	D #	E	F	F #	G	G #	C	A #	B	C	C #	D	D #	E	F	F #	G
B	C	C #	D	D #	E	F	F #	G	G #	A	A #	B	C	C #	D	D #	E	F	F #	G	G #
C	C #	D	D #	E	F	F #	G	G #	A	A #	B	C	C #	D	D #	E	F	F #	G	G #	A
C #	D	D #	E	F	F #	G	G #	A	A #	B	C	C #	D	D #	E	F	F #	G	G #	A	A #
D	D #	E	F	F #	G	G #	A	A #	B	C	C #	D	D #	E	F	F #	G	G #	A	A #	B
D #	E	F	F #	G	G #	A	A #	B	C	C #	D	D #	E	F	F #	G	G #	A	A #	B	C
E	F	F #	G	G #	A	A #	B	C	C #	D	D #	E	F	F #	G	G #	A	A #	B	C	C #
F	F #	G	G #	A	A #	B	C	C #	D	D #	E	F	F #	G	G #	A	A #	B	C	C #	D
F #	G	G #	A	A #	B	C	C #	D	D #	E	F	F #	G	G #	A	A #	B	C	C #	D	D #
G	G #	A	A #	B	C	C #	D	D #	E	F	F #	G	G #	A	A #	B	C	C #	D	D #	E
G #	A	A #	B	C	C #	D	D #	E	F	F #	G	G #	A	A #	B	C	C #	D	D #	E	F

Tabela 3.7 – Vinte e três notas com suas denominações para todas as tonalidades

Tonalidade de dó maior

A escala de dó maior possui as seguintes notas e denominações conforme a tabela 3.8:

Dó maior

1	2	2	3	3	4	5	5	5	6	7	7	8	9	9	9	1	1	1	1	1	1
	-		-	+		-	+			-	+		-		+	0	1	1	2	2	3
C	C#	D	D#	E	F	F#	G	G#	A	A#	B	C	C#	D	D#	E	F	F#	G	G#	A
			E			G		A		B			D		E		F		A		
			b			b		b		b			b		b		b		b		

Tabela 3.8 – Notas e denominações para a escala de Dó Maior

Ou seja:

Dó maior = 1, 2, 3+, 4, 5, 6, 7+, 8, 9, 10, 11, 12, 13,....

Tonalidade de dó menor

Dó menor

1	2	2	3	3	4	5	5	5	6	7	7	8	9	9	9	1	1	1	1	1	1
	-		-	+		-	+			-	+		-		+	0	1	1	2	2	3
C	C#	D	D#	E	F	F#	G	G#	A	A#	B	C	C#	D	D#	E	F	F#	G	G#	A
			E			G		A		B			D		E		F		A		
			b			b		b		b			b		b		b		b		

Tabela 3.9 – Notas e denominações para a escala de Dó Menor

Dó menor = 1, 2, 3-, 4, 5, 5+, 7-, 8, 9, 11,12,12+,....

Tonalidade de Lá menor

Assim, olhando o exemplo dado da escala de dó maior, a escala de lá menor possuiria as seguintes notas:

1	2 -	2	3 -	3 +	4	5 -	5	5 +	6	7 -	7 +	8	9 -	9	9 +	1 0	1 1	1 1 +	1 2	1 2 +	1 3
A	A #	B	C	C #	D	D #	E	F	F #	G	G #	A	A #	B	C	C #	D	D #	E	F	F #

Tabela 3.10 – Notas e denominações para a escala de Lá Menor

Lá menor = 1, 2, 3-, 4, 5, 5+, 7-, 8, 9, 11, 12, 12+, ...

3.7 Entendendo a questão da Transposição

3.7.1 Conceito de Transposição

Transpor uma melodia ou uma música, do ponto de vista da teoria musical, baseando-se em tonalidades, é algo complexo e que demanda um bom conhecimento teórico do músico. Por outro lado, do ponto de vista do resultado (a música transposta), fazer uma transposição é algo relativamente simples.

Transpor uma música é mudar todas as notas musicais pertencente à mesma de uma região (faixa de notas) para uma região mais grave ou mais aguda, mantendo as distâncias originais entre as notas da melodia ou música inicial.

Para tornar mais simples a explicação, observe o exemplo:

Exemplo de transposição

Dada a melodia (um conjunto de notas em sequência), deseja-se transpor a mesma, quatro semitons acima:

C 4 -> A4 -> E5 -> D5 -> C4 -> G4 -> C4

Para transpor a melodia escrita anteriormente, (C 4 -> A4 -> E5 -> D5 -> C4 -> G4 -> C4), basta olhar o nome das notas da sequência, sem se preocupar com a oitava da mesma. Através do relógio de notas mostrado na figura 3.25, pode-se calcular as distâncias entre elas, tanto olhando no sentido horário quanto anti-horário.

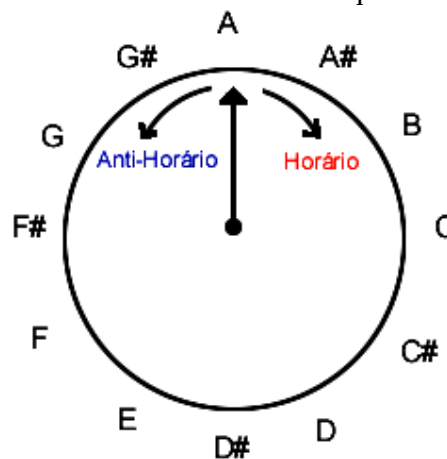


Figura 3.25 - Relógio de notas com a distância entre elas

Distância de C4 a A4 = distância de C a A = -3S (o sinal negativo (-3S) indica que se deve olhar no relógio no sentido anti-horário), onde S = um semitom. Observe a figura 3.26.

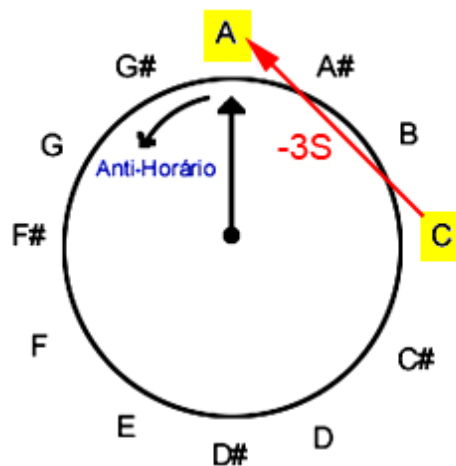


Figura 3.26 - Distância de C4 a A4, igual a -3S

Distância de **A4** a **E5** = distância de **A** a **E** = $-5S$. Observe a figura 3.27.

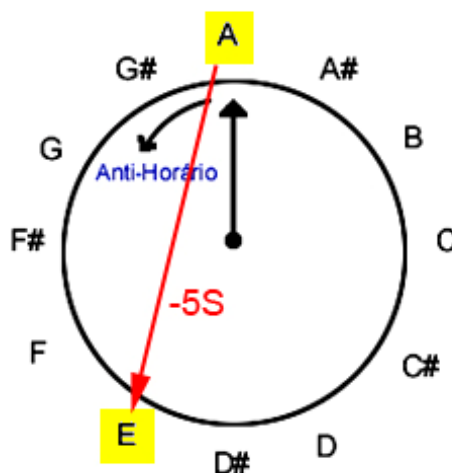


Figura 3.27 - Distância de **A4** a **E5**, igual a $-5S$

Distância de **E5** a **D5** = distância de **E** a **D** = $-2S$. Observe a figura 3.28.

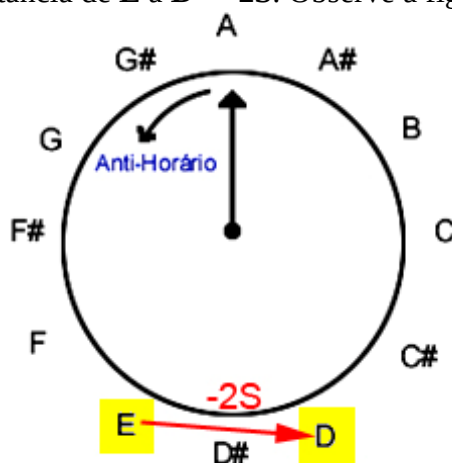


Figura 3.28 - Distância de **E5** a **D5**, igual a $-2S$

Distância de **D5** a **C4** = distância de **D** a **C** = $-2S$. Observe a figura 3.29.

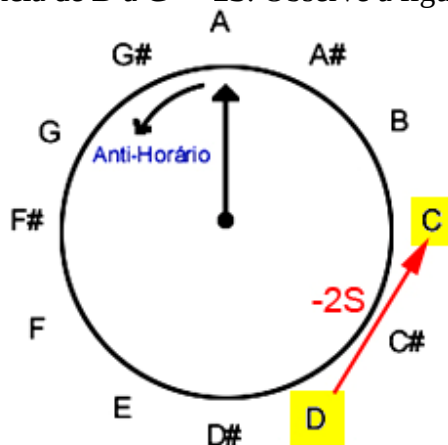


Figura 3.29 - Distância de **D5** a **C4**, igual a $-2S$

Distância de **C4** a **G4** = distância de **C** a **G** = $-5S$. Observe a figura 3.30.

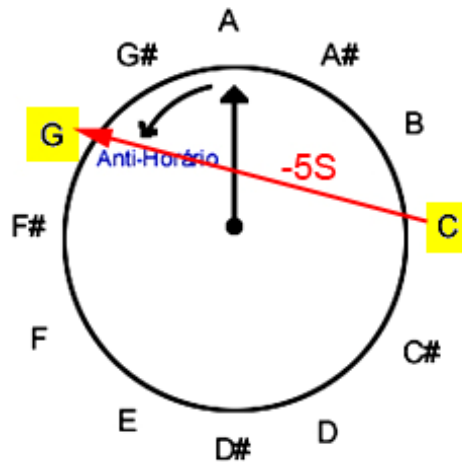


Figura 3.30 - Distância de **C4** a **G4**, igual a $-5S$

Distância de **G4** a **C4** = distância de **G** a **C** = $5S$. Observe a figura 3.31.

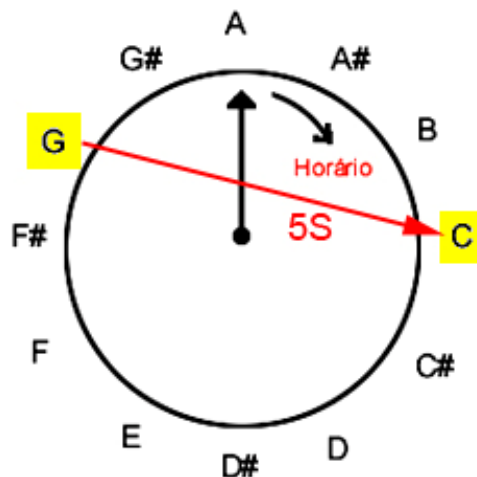


Figura 3.31 - Distância de **G4** a **C4**, igual a $5S$

Assim, a seguinte seqüência musical:

C 4 -> A4 -> E5 -> D5 -> C4 -> G4 -> C4

Fica com a seguinte distância entre as notas:

C 4 -> $-3S$ -> A4 -> $-5S$ -> E5 -> $-2S$ -> D5 -> $-2S$ -> C4 -> $-5S$ -> G4 -> $5S$ -> C4

Para transpor esta seqüência 4 (quatro) semitons acima, basta iniciar a seqüência nova (transposta) pela nota musical quatro semitons acima.

No caso, a seqüência original inicia na nota musical **C4**.

A nota musical 4 (quatro) semitons acima da nota **C4**, olhando o teclado do piano ou o relógio, é a nota **E4**.

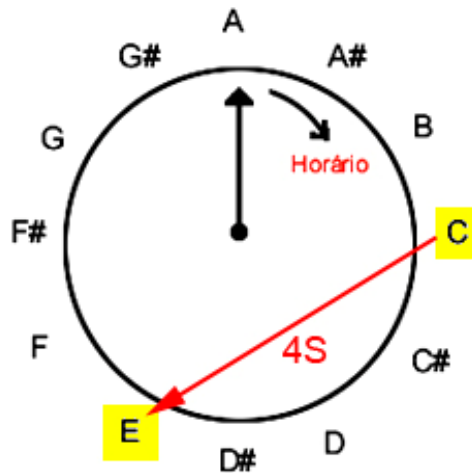


Figura 3.32 - Nota musical **C4**, quatro semitons acima, correspondendo à nota **E4**

Assim, a nova seqüência da música transposta 4 (quatro) semitons acima deverá iniciar pela nota musical **E4** mantendo a demais notas da seqüência à mesma distância das notas da seqüência original.

Seqüência original:

C 4 -> -3S->A4 -> -5S-> E5 -> -2S-> D5 -> -2S-> C4 -> -5S->G4 -> 5S-> C4

A nova seqüência fica:

E 4 -> -3S->C#4 -> -5S-> G#5 -> -2S-> F#5 -> -2S-> E4 -> -5S->B4 -> 5S-> E4

Assim, com os conceitos e exemplos apresentados, julga-se ter explorado o mínimo necessário para que o leitor possa, sob o ponto de vista musical, acompanhar os desenvolvimentos deste trabalho.