

**Francisco Pedro C. Sant'Anna**

**Transcrição Automática de  
Harmonia Musical**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**  
Programa de Pós-graduação em  
Engenharia Elétrica

Rio de Janeiro  
Setembro de 2005

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA  
DO RIO DE JANEIRO



**Francisco Pedro C. Sant'Anna**

**Transcrição Automática de Harmonia  
Musical**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica do Departamento de Engenharia Elétrica da PUC-Rio

Orientador: Prof. José Mauro Pedro Fortes

Rio de Janeiro  
Setembro de 2005



**Francisco Pedro C. Sant'Anna**

**Transcrição Automática de Harmonia  
Musical**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica do Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Prof. José Mauro Pedro Fortes**

Orientador

Departamento de Engenharia Elétrica — PUC-Rio

**Prof. Weiler Alves Finamore**

CETUC/PUC-Rio

**Prof. Marcelo da Silva Pinho**

ITA

**Prof. Abraham Alcain**

CETUC/PUC-Rio

**Prof. José Eugênio Leal**

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico —  
PUC-Rio

Rio de Janeiro, 13 de Setembro de 2005

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

**Francisco Pedro C. Sant'Anna**

Graduou-se em Engenharia Elétrica com ênfase em Telecomunicações na PUC-Rio. Durante a graduação participou de diversos projetos de pesquisa nas áreas de compressão de imagens e cálculo de interferências em sistemas de telecomunicações. cursou 2 quadrimestres da graduação na University of California at Santa Barbara. Trabalha há cinco anos junto a operadoras de telecomunicações no Grupo Telemar desenvolvendo produtos de comunicação de dados e internet bem como estratégias de mercado para o segmento Corporativo.

Ficha Catalográfica

Sant'Anna, Francisco Pedro C.

Transcrição Automática de Harmonia Musical/  
Francisco Pedro C. Sant'Anna; orientador: José Mauro Pedro Fortes. — Rio de Janeiro : PUC-Rio, Departamento de Engenharia Elétrica, 2005.

73 f ; 30 cm

Dissertação (mestrado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Elétrica.

Inclui referências bibliográficas.

1. Engenharia elétrica – Teses. 2. Processamento de sinais musicais. 3. Transcrição automática. 4. Música computacional. 5. Análise musical. 6. Reconhecimento de áudio. I. Fortes, José Mauro Pedro. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. III. Título.

CDD: 621.3

## Agradecimentos

Ao meu orientador Professores José Mauro Fortes pelo apoio, disponibilidade, flexibilidade e inspiração para a realização deste trabalho.

À PUC-Rio por ter me acolhido por duas vezes custeando meus estudos e disponibilizando sua estrutura e brilhante corpo docente para a minha formação.

À minha amada esposa, cujo conforto e apoio foram a indispensável força e o equilíbrio para suportar o desgastante desafio de conciliar trabalho e estudos.

Aos meus pais, pela formação e carinho que me possibilitaram chegar aqui e aos irmãos, sogros, cunhados, família e amigos, por tornarem todos os caminhos mais leves.

À Telemar, que me permitiu o conforto financeiro e o desenvolvimento profissional simultaneamente a esta empreitada. Em especial ao Elísario Dias, que me permitiu aceitar este desafio de tentar conciliar mundos tão distintos e aos nobres colegas de trabalho que se sacrificaram para me dar cobertura em minhas ausências.

Ao professor Weiler Finamore, que há anos vem sendo uma grande referência de inteligência com humildade e caráter e que sempre me apoiou na vida acadêmica.

A Joel Luft, pelo exemplo de aplicação de inteligência e conhecimento acadêmico e pelas dicas sobre reconhecimento de voz.

Ao grande amigo e maestro Pedro Aragão, pelo apoio, assessoria musical e discussões sobre transcrição de harmonia.

## Resumo

Sant'Anna, Francisco Pedro C.; Fortes, José Mauro Pedro. **Transcrição Automática de Harmonia Musical**. Rio de Janeiro, 2005. 73p. Dissertação de Mestrado — Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A extração de parâmetros musicais de gravações de áudio a partir do processamento do sinal musical viabiliza uma série de aplicações importantes no campo de análise e classificação de peças musicais. A Harmonia é um importante aspecto da estrutura musical, fazendo da seqüência de acordes de uma peça uma informação extremamente relevante em sua análise e parte fundamental do próprio registro gráfico da música. Este trabalho discute os elementos envolvidos na transcrição de harmonia musical assim como as ferramentas matemáticas e de processamento de sinais adequadas a um método automático de análise e identificação de acordes, propondo um modelo para um sistema capaz de transcrever seqüências de acordes a partir de gravações de áudio comerciais. O sistema proposto analisa um sinal de áudio e retorna as cifras correspondentes aos acordes que melhor representam o sinal.

## Palavras-chave

Processamento de Sinais Musicais; Transcrição Automática; Harmonia Musical; Reconhecimento de Acordes.

## Abstract

Sant'Anna, Francisco Pedro C.; Fortes, José Mauro Pedro. **Automatic Transcription of Musical Harmony**. Rio de Janeiro, 2005. 73p. MSc. Dissertation — Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The extraction of musical parameters from audio recordings enables a series of important applications in the field of musical analysis and classification. Harmony is a major issue on music structure, making the chord sequence of a musical piece an extremely relevant information on its analysis and a fundamental part of the musical graphic register. This work discusses the elements involved in musical harmony transcription as well as the mathematical and signal processing tools suitable to build an automatic method for the analysis and identification of chords, proposing a model capable of transcribing chord sequences from commercial audio recordings. The proposed system analyzes an audio signal and returns the symbols corresponding to the chords that best fit the signal.

## Keywords

Musical Signal Processing; Automatic Transcription; Musical Harmony; Chord Recognition.

## Conteúdo

1	Introdução	10
2	Conceitos Básicos de Música	12
3	Definição do Problema e Abordagem Proposta	27
4	Alguns Aspectos de Processamento de Sinais Musicais	30
5	Modelagem Matemática	36
5.1	O Modelo de Markov Escondido	37
5.2	Parametrização do HMM aplicado ao problema	42
5.3	Treinamento do Modelo	47
5.4	Identificação da Seqüência de Acordes	50
6	Implementação e Resultados Numéricos	55
6.1	Construção do Sistema a partir do Modelo	55
6.2	Critérios de Avaliação	60
6.3	Resultados Obtidos	61
7	Conclusões e Proposta de Trabalhos Futuros	68
	Referências Bibliográficas	71

## Lista de Figuras

2.1	Forma de Onda e Espectro do <i>dó3</i> de um Vibrafone	14
2.2	Forma de Onda e Espectro do <i>dó3</i> de um Piano	15
2.3	Ondas Estacionárias em uma Corda ou Tubo Sonoro	16
2.4	O ciclo de quintas, base da Afinação Pitagórica	18
2.5	Esquema de obtenção das notas na Entonação justa	19
2.6	As notas da Escala de <i>dó maior</i> no piano	20
2.7	O acorde de <i>sol maior</i> no piano	22
2.8	O acorde de <i>lá menor</i> no piano	22
2.9	O acorde de C7M no piano	23
2.10	O acorde de Am7M no piano	23
4.1	Espectro de uma janela de amostragem de um trecho musical	34
5.1	Exemplo de Cadeia de Markov com 4 estados	39
5.2	Histograma e aproximação gaussiana das componentes da saída do estado correspondente ao acorde <i>dó maior</i>	45
5.3	Estrutura em treliça ilustrando o algoritmo de Viterbi	52
5.4	Agrupamento de caminhos na treliça de Viterbi	53
6.1	Espelho da implementação do ambiente de tratamento das informações	58
6.2	Exemplo do alinhamento de uma transcrição à harmonia original	61
6.3	Ilustração do resultado obtido na transcrição de uma peça de piano ( $\epsilon = 0,12$ ).	62

## Lista de Tabelas

4.1	Características das janelas mais comuns	32
6.1	Taxa de erro na transcrição de piano a partir de diferentes $\mathcal{T}$	63
6.2	Taxa de erro por tamanho de janela	64
6.3	Taxa de Erro por Função Janela Utilizada	65
6.4	Desempenho na transcrição de músicas dos Beatles	67

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)