Sumário

[1 Introdução 7](#_Toc261203388)

[2 Referencial Teórico 8](#_Toc261203389)

[2.1 Som 8](#_Toc261203390)

[2.2 Música 9](#_Toc261203391)

[2.2.1 Nota Musical 9](#_Toc261203392)

[2.2.2 Acordes 13](#_Toc261203393)

[2.3 Transformada de Fourier 15](#_Toc261203394)

[3 Ferramentas 16](#_Toc261203395)

[3.1 .NET Framework 16](#_Toc261203396)

[3.2 Visual studio 2008 16](#_Toc261203397)

[3.3 DirectX 17](#_Toc261203398)

[3.4 SlimDX 17](#_Toc261203399)

[3.5 NUnit 17](#_Toc261203400)

[3.6 TestMatrix 17](#_Toc261203401)

[3.7 DB4Objects 18](#_Toc261203402)

[3.8 Subversion 18](#_Toc261203403)

[3.9 UML 18](#_Toc261203404)

[4 Metodologia 20](#_Toc261203405)

[4.1 Pesquisa Inicial 21](#_Toc261203406)

[4.2 Especificação das Classes 21](#_Toc261203407)

[4.3 Especificação dos Casos de Teste 21](#_Toc261203408)

[4.4 Implementação das Classes 23](#_Toc261203409)

[4.5 Validação dos Casos de Teste 23](#_Toc261203410)

[4.6 Experimentos 23](#_Toc261203411)

[5 Implementação 25](#_Toc261203412)

[5.1 Songer.UnitTests 26](#_Toc261203413)

[5.1.1 Classe MusicalAnalyzerTests 27](#_Toc261203414)

[5.1.2 Classe NotesAndChordsTests 27](#_Toc261203415)

[5.2 Songer.SoundInput 28](#_Toc261203416)

[5.2.1 Classe SoundSource 29](#_Toc261203417)

[5.2.2 Classe LineInCapture 30](#_Toc261203418)

[5.2.3 Classe WaveFileCapture 31](#_Toc261203419)

[5.2.4 Classe SoundDetectedEventArgs 32](#_Toc261203420)

[5.3 Songer.SoundAnalysis 32](#_Toc261203421)

[5.3.1 Estrutura ComplexNumber 33](#_Toc261203422)

[5.3.2 Classe CooleyTukeyFFT 33](#_Toc261203423)

[5.4 Songer.MusicalInterpreter 34](#_Toc261203424)

[5.4.1 Classe MusicalNote 35](#_Toc261203425)

[5.4.2 Classe MusicalNoteDictionary 35](#_Toc261203426)

[5.4.3 Classe Chord 36](#_Toc261203427)

[5.4.4 Classe ChordDictionary 37](#_Toc261203428)

[5.4.5 Classe MusicalAnalyzer 37](#_Toc261203429)

[5.5 Songer.Database 43](#_Toc261203430)

[5.5.1 Classe Song 43](#_Toc261203431)

[5.5.2 Classe SongStore 44](#_Toc261203432)

[5.6 Songer.Presentation 45](#_Toc261203433)

[5.6.1 Tela Inserir 46](#_Toc261203434)

[5.6.2 Tela Buscar 47](#_Toc261203435)

[6 Experimentos 48](#_Toc261203436)

[6.1 Será / Wherever You Will Go 50](#_Toc261203437)

[6.2 With or Without You / Please 50](#_Toc261203438)

[6.3 Mulher de Fases / Vida Passageira 51](#_Toc261203439)

[6.4 The Kids Aren’t Allright / The Scientist 51](#_Toc261203440)

[6.5 Pais e Filhos / Uma Chance 51](#_Toc261203441)

[7 Conclusão 53](#_Toc261203442)

[8 Referência Bibliográfica 54](#_Toc261203443)

Lista de Figuras

[Figura 2‑1: Notas musicais em um piano 10](#_Toc261203444)

[Figura 2‑2: Envelope ADSR de uma nota musical 11](#_Toc261203445)

[Figura 4‑1: Fluxo da metodologia utilizada 20](#_Toc261203446)

[Figura 4‑2: Exemplo do menu Generate Method Stub 22](#_Toc261203447)

[Figura 5‑1: Diagrama dos módulos do projeto. 25](#_Toc261203448)

[Figura 5‑2: Diagrama de classes do módulo Songer.UnitTests 26](#_Toc261203449)

[Figura 5‑3: Exemplo de falha de teste. 28](#_Toc261203450)

[Figura 5‑4: Diagrama de classes do módulo Songer.SoundInput 29](#_Toc261203451)

[Figura 5‑5: Diagrama de classes do módulo Songer.SoundAnalysis 33](#_Toc261203452)

[Figura 5‑6: Diagrama de classes do módulo Songer.MusicalInterpreter 34](#_Toc261203453)

[Figura 5‑7: Diagrama de classes do módulo Songer.Database 43](#_Toc261203454)

[Figura 5‑8: Tela de inserção de nova música 46](#_Toc261203455)

[Figura 5‑9: Tela de busca de música 47](#_Toc261203456)

Lista de Quadros

[Quadro 2‑1: Exemplo de cifra 14](#_Toc261123695)

[Quadro 4‑1: Exemplo do método gerado pelo Visual Studio 22](#_Toc261123696)

[Quadro 5‑1: Exemplo de teste de unidade 27](#_Toc261123697)

[Quadro 5‑2: Código-fonte do método Chord.Matches 37](#_Toc261123698)

[Quadro 5‑3: Código-fonte do método MusicalAnalyzer.OnSoundDetected 38](#_Toc261123699)

[Quadro 5‑4: Código-fonte do método MusicalAnalyzer.GetNotesBeingPlayed 40](#_Toc261123700)

[Quadro 5‑5: Código-fonte do método MusicalAnalyzer.GetChordBeingPlayed 41](#_Toc261123701)

[Quadro 5‑6: Código-fonte do método MusicalAnalyzer.FindBestChord 41](#_Toc261123702)

[Quadro 5‑7: Código-fonte do método MusicalAnalyzer.ProcessChordsSequence 42](#_Toc261123703)

[Quadro 5‑8: Código-fonte do método Song.Matches 43](#_Toc261123704)

[Quadro 5‑9: Código-fonte dos métodos SongStore.Add e SongStore.Delete 44](#_Toc261123705)

[Quadro 5‑10: Código-fonte do método SongStore.Search 44](#_Toc261123706)

Lista de Tabelas

[Tabela 2‑1: Freqüência fundamental das notas musicais 11](#_Toc261203473)

[Tabela 6‑1: Tabela de pontuação 49](#_Toc261203474)

[Tabela 6‑2: Exemplo de análise 49](#_Toc261203475)

[Tabela 6‑3: Resultados da música Será 50](#_Toc261203476)

Lista de Abreviaturas e Siglas

|  |  |
| --- | --- |
| ADSR | Ataque, Decaimento, Sustentação, Relaxamento |
| API | Application Programming Interface |
| BPM | Batidas por minuto |
| DFT | Discrete Fourier Transform |
| DLL | Dynamic-Link Libraries |
| FFT | Fast Fourier Transform |
| PCM | Pulse Code Modulation |
| RAD | Rapid Application Development |
| SVN | Subversion |
| UML | Unified Modelling Language |

# Introdução

# Referencial Teórico

Este capítulo trata dos conceitos necessários para o desenvolvimento deste trabalho. Mesmo sendo um trabalho que trata do desenvolvimento de software, e voltado para a área de informática, este utiliza diversos conceitos de som e música, que não são comuns a essas pessoas. Aqui serão apresentados a mecânica do som, e como música pode ser criada a partir de diferentes sons. Além disso, será apresentada também uma pequena explicação sobre a transformada de Fourier, muito importante a este trabalho.

## Som

Segundo a definição do dicionário Gama Kury (KURY, 2002), som é o "efeito produzido no sentido da audição pela vibração dos corpos sonoros”.

Holst (HOLST, 1998) faz uma definição de som de forma um pouco mais simples, mas de fácil acesso:

Som é tudo o que ouvimos: o tique-taque de um relógio, uma porta batendo, um cão latindo, um carro mudando de marcha na ladeira, o vento nas arvores, uma voz soando no quarto ao lado e outra voz cantando na casa do outro lado da rua.

Fisicamente, a vibração de um corpo gera uma onda sonora, que é um tipo de onda mecânica. Segundo Halliday (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2006), ondas mecânicas “são ondas que necessitam de um meio material para a sua existência”. Esses meios materiais podem ser do tipo sólido, líquido e gasoso.

No ouvido dos mamíferos existe uma estrutura conhecida por cóclea ou caracol, que segundo Soares (SOARES, 1998), “é a parte do ouvido interno que responde pela capacidade de audição propriamente dita”. Grande parte desta estrutura é revestida por milhares de pequenas células ciliadas que vibram em decorrência das ondas sonoras. Cada célula ciliada vibra em uma freqüência diferente, o que permite escutar uma gama muito grande de freqüências (no caso dos seres humanos, essa gama de freqüências vai de 20 Hz[[1]](#footnote-2) a 20 kHz em média), e é justamente a perda de algumas dessas células durante a vida que causa a surdez parcial (quando há perda de audição em ondas sonoras de algumas freqüências).

O som pode ser utilizado de diversas maneiras, por exemplo, comunicação e localização (morcegos e golfinho utilizam a eco-localização para caçar), mas pode também ser combinado para criar a forma de arte conhecida como música.

## Música

Música pode ser definida como a “arte de combinar sons para que produzam um efeito agradável” (KURY, 2002). Aurélio (FERREIRA, 2004) vai um pouco mais adiante, dizendo que é a “arte e ciência de combinar os sons de modo agradável à audição“. Apesar de parecidas, a segunda definição é mais completa ao afirmar que música é também ciência, pois há todo um conjunto de regras bem definidas que tornam as músicas agradáveis a nossos ouvidos.

### Nota Musical

Uma nota musical é o menor elemento de som perceptível pelo ouvido humano, caracterizado pela sua freqüência fundamental. No caso de um violão, essa é a medida do número de vezes que a corda irá vibrar a cada segundo quando uma nota qualquer for tocada.

Para Holst (2004, p. 4), uma nota musical é um nível de som claro e sustentado, sendo diferenciados de outros sons não-musicais pela regularidade no vai e vem das ondas sendo geradas pela mesma.

Apesar de termos uma gama quase infinita de freqüências, a música se atém a utilizar apenas um número controlável de níveis bem definidos. Na música ocidental, são utilizadas sete notas musicais: dó, ré, mi, fá, sol, lá e si[[2]](#footnote-3), que correspondem às teclas brancas de um piano. Além destas, há ainda outras cinco notas “extras”, que são variações, meio tom acima (# ou Sustenido) ou meio tom abaixo (b ou Bemol), formando um conjunto completo de 12 semitons. A Figura 2‑1 mostra como estão dispostas essas notas no teclado de um piano.

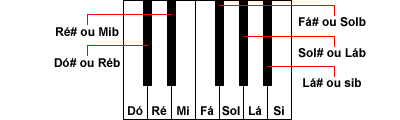


Figura ‑: Notas musicais em um piano

Se as teclas brancas forem tocadas seqüencialmente, o som destas notas causa ao ouvinte um efeito parecido ao subir de degraus em uma escada, pois a cada nota o som emitido vai se tornando mais agudo, com o aumento da freqüência fundamental do mesmo. Estas notas formam uma estrutura conhecida como escala, que é composta por oito notas musicais, sendo a oitava nota igual à primeira, mas com freqüência fundamental igual ao dobro desta.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | **Oitavas** | | | | |
|  |  | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** |
| **Nota** | **Dó** | **33** | **65** | **131** | **262** | **523** |
| **Dó#** | **35** | **69** | **139** | **277** | **554** |
| **Ré** | **37** | **73** | **147** | **294** | **587** |
| **Ré#** | **39** | **78** | **156** | **311** | **622** |
| **Mi** | **41** | **82** | **165** | **330** | **659** |
| **Fá** | **44** | **87** | **175** | **349** | **698** |
| **Fá#** | **46** | **93** | **185** | **370** | **740** |
| **Sol** | **49** | **98** | **196** | **392** | **784** |
| **Sol#** | **52** | **104** | **208** | **415** | **831** |
| **Lá** | **55** | **110** | **220** | **440** | **880** |
| **Lá#** | **58** | **117** | **233** | **466** | **932** |
| **Si** | **62** | **123** | **247** | **493** | **988** |

Tabela ‑: Freqüência fundamental das notas musicais

Avaliando a Tabela 2‑1, é possível notar que a nota Lá tem sua freqüência fundamental dobrada a cada oitava: 52Hz, 110Hz, 220Hz, 440Hz e 880Hz. As outras notas podem ter um valor não exato quando dobrado, pois os valores apresentados foram arredondados.

Todos os instrumentos vocais, inclusive a voz humana, possuem um número finito de notas musicais que podem ser tocadas (ou cantadas). Um piano pode, por exemplo, tocar desde Lá na primeira oitava (28Hz) até Dó na oitava de número oito (4186Hz). Um violão de Mi na segunda oitava (82Hz) a Fá na sexta oitava (1397Hz). E uma pessoa de Fá na segunda oitava (87Hz) até Dó na sexta oitava (1047Hz).

Mesmo que uma pessoa tocando um violão e outra tocando piano toquem a mesma nota, no mesmo momento, os sons emitidos por eles serão levemente diferentes. Isso ocorre porque cada instrumento possui um timbre (ou características do som produzido) diferente.

O que causa essa diferença é um envelope de amplitude de som conhecido como ADSR[[3]](#footnote-4), apresentado na Figura 2‑2, formado por quatro fases distintas:

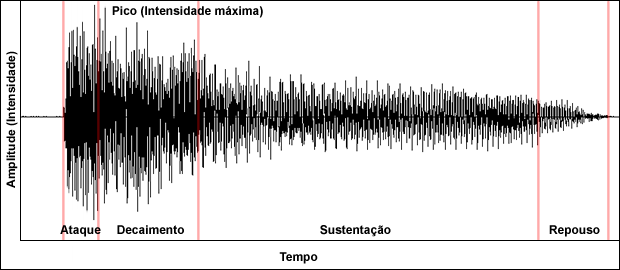


Figura ‑: Envelope ADSR de uma nota musical

* Ataque: é a fase que vai do silencio total à intensidade máxima da nota musical;
* Decaimento: o som sofre uma pequena queda de intensidade até se estabilizar;
* Sustentação: é a fase em que a intensidade da nota permanece praticamente inalterável e, na maioria dos instrumentos, o músico pode controlar o tempo em que a nota permanece nessa fase (como em uma flauta, até que o músico pare de soprar);
* Repouso (ou relaxamento): inversamente à fase de ataque, é onde a intensidade do som diminui até voltar ao silencio total.

Essas quatro fases estão presentes em todos os sons, sejam eles notas musicais ou não. De acordo com cada instrumento, o tempo de cada uma dessas fases muda, dando assim a característica de timbre a cada instrumento.

Em uma guitarra, o ataque é bastante rápido, há um decaimento um pouco mais lento que o ataque, e a sustentação possui um nível mediano. Já em uma flauta, o ataque demora um pouco mais até que o sopro do flautista alcance a intensidade correta, mas aí não há decaimento, e a sustentação ocorre de acordo com o tempo que o mesmo conseguirá segurar o fôlego.

Essa diferença do envelope ADSR por si só já garante a diferença de timbre de dois instrumentos diferentes, mas quando uma nota é tocada, além da freqüência fundamental, ela também emite ondas sonoras secundárias, conhecidas como harmônicos, que tem freqüências em múltiplos inteiros da mesma nota.

A característica física de cada instrumento controla o número e amplitude dos harmônicos gerados. É por isso que mesmo dois violões geram sons diferentes quando é tocada a mesma nota musical em ambos. Essa diferença pode acontecer inclusive em instrumentos da mesma marca e modelo, pois até o material do qual ele foi produzido possui pequenas mudanças (como dois violões do mesmo modelo, mas usando madeira de árvores cortadas com idade diferentes, tendo uma pequena mudança na densidade da mesma).

### Acordes

Para Adolfo (ADOLFO, 1989), uma música é formada por quatro elementos básicos, sendo eles:

* Melodia – representada pela linha melódica principal, normalmente preenchida pela voz, e onde se encaixa a letra da música;
* Harmonia – representada pelo conjunto de acordes;
* Pulsação – representada pelo ritmo do acompanhamento;
* Baixo – representada pela nota fundamental (ou raiz) do acorde.

Como este trabalho visa o desenvolvimento de um sistema de detecção automática de acordes, a harmonia é o elemento de estudo a ser conhecido mais a fundo.

Um acorde é formado pelo conjunto de notas musicais de uma escala sendo tocadas juntas. De acordo com o número de notas utilizadas neste acorde, ele pode ser classificado como uma tríade ou uma tétrade.

Segundo Straus (STRAUS, 2008), uma tríade é composta por três notas musicais de uma mesma escala, onde “a nota mais baixa é chamada de raiz, a do meio é chamada de terça e a mais alta é chamada de quinta” [[4]](#footnote-5). A tétrade é formada pela adição da sétima nota musical da escala à tríade.

As acordes podem ser classificadas de quatro formas, de acordo com as notas musicais terça e quinta:

* Maior: a terça e a quinta são perfeitas;
* Menor: a terça está em bemol e a quinta é perfeita;
* Aumentado: a terça é perfeita e a quinta está em sustenido;
* Diminuto: a terça e a quinta estão em bemol.

Em todos estes casos, a raiz permanece perfeita, pois é ela quem define o nome do acorde. Em música popular, os acordes maiores e menores estão presente em todas as músicas, enquanto os acordes aumentados e diminutos são bem mais difíceis de serem encontrados.

Em música popular, normalmente as músicas são representadas através de cifras, diferente das músicas clássicas que são lidas através de partituras. O Quadro 2‑1 mostra um exemplo de como normalmente é apresentada uma cifra.

|  |
| --- |
| C G Am F C  Tire suas mãos de mim, eu não pertenço a você  G Am F C  Não é me dominando assim que você vai me entender  G Am F Am  Eu posso estar sozinho mas eu sei muito bem aonde estou  F G (C F G)  Você pode até duvidar, acho que isso não é amor |

Quadro ‑: Exemplo de cifra

A cifra nada mais é que o conjunto de acordes que compõem a música. Eles podem estar dispostos como nas três primeiras linhas de cifras do Quadro 2‑1, em que é possível saber onde ocorre a troca dos acordes em relação à letra da música, ou em muitos casos, apenas o conjunto da cifra é entregue de forma ordenada, sem espaçamento, como na última linha do mesmo quadro. Em qualquer um dos casos, a cifra não informa exatamente o ritmo original da música, e cabe ao músico executante um conhecimento prévio da música (ter escutado-a pelo menos uma vez ou receber orientação de outra pessoa que o tenha feito).

Quando o acorde é tocado, o som que se escuta é de apenas uma freqüência combinada. Segundo Halliday (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2006), o que se escuta é a “media das duas freqüências. Escutaremos também uma notável variação na intensidade deste som – ele aumenta e diminui produzindo um batimento lento e periódico”, sendo que este batimento se repete em uma freqüência igual à diferença das duas freqüências originais. Isso quer dizer que quando se toca um acorde, a freqüência individual de cada uma das notas é mesclada às outras e perdida.

## Transformada de Fourier

Os acordes gravados podem ser analisados facilmente no domínio de tempo, que diz a freqüência tocada a cada intervalo de tempo (normalmente em milissegundos), mas para conseguir identificá-los é necessário fazer a analise das freqüências tocadas. Como no domínio do tempo a freqüência é a de todas as notas do acorde sendo tocadas juntas, é necessário fazer a separação desta no conjunto de freqüências fundamentais original.

A transformada discreta de Fourier (DFT[[5]](#footnote-6)) é uma transformada que converte uma função em domínio de tempo para o domínio de freqüência, ou seja, permite que se obtenha, a partir de uma única freqüência. Um dos problemas da DFT é que ela não é rápida o suficiente para ser calculada em tempo real.

Segundo Bowen (BOWEN e BROWN, 1982), “Cooley e Tukey publicaram em 1965 uma técnica eficiente de se calcular uma DF [...] reduzindo a complexidade de O(N²) para O ([N/2]log2N), o que diminuiu drasticamente o poder computacional necessário para se calcular uma DFT”[[6]](#footnote-7). Essa técnica ficou conhecida como transformada rápida de Fourier (FFT[[7]](#footnote-8)).

# Ferramentas

Este capítulo apresenta as ferramentas que serão utilizadas na implementação do sistema proposto neste trabalho científico.

## .NET Framework

O .NET Framework (MICROSOFT CORPORATION, 2010) é uma plataforma para desenvolvimento de aplicativos, que provê uma grande biblioteca para construção rápida de aplicativos (RAD[[8]](#footnote-9)), abstraindo diversos aspectos do sistema operacional, e uma máquina virtual para execução gerenciada dos mesmos. Atualmente está na versão 4.0 (lançada em Abril de 2010), mas para este trabalho foi escolhida a versão 3.5 pois era a mais recente quando o mesmo foi iniciado (em Dezembro de 2009).

O .NET permite o desenvolvimento em qualquer linguagem que possua um compilador específico para a plataforma. Para este trabalho foi escolhida a linguagem C#, que além de ser a mais utilizada na plataforma, é aquela em que o autor possui mais de sete anos de experiência.

## Visual studio 2008

O Visual Studio (MICROSOFT CORPORATION, 2008) é um ambiente integrado de desenvolvimento, que permite a criação de aplicativos para desktop (Windows) e web, tanto em código nativo (com linguagem C++) e para o .NET Framework. Novamente, a escolha foi realizada devido à experiência do autor, de mais de sete anos com o ambiente, tendo trabalhado com o mesmo desde a versão 2002 (conhecido popularmente como apenas como Visual Studio.NET).

## DirectX

O DirectX (MICROSOFT CORPORATION, 2010) é uma coleção de API[[9]](#footnote-10)s para tratar de tarefas relacionadas à multimídia no sistema operacional Windows, provendo uma abstração do hardware para chamadas de software, utilizado inicialmente para o desenvolvimento de jogos. Neste trabalho, foi utilizada para ter acesso a recursos de captura de áudio, através das APIs do DirectSound.

## SlimDX

A SlimDX (SLIMDX GROUP, 2010) é uma biblioteca de código-aberto que disponibiliza acesso às APIs do DirectX através do .NET Framework. Foi criada como um substituto ao Managed DirectX da Microsoft (descontinuado em Outubro de 2006, antes do lançamento da segunda versão), e dá suporte a estruturas de código do .NET Framework 2.0 em diante, além de ter compatibilidade total com o Visual Studio 2008.

## NUnit

O NUnit (NUNIT.ORG, 2007) é uma plataforma de testes de unidade, composta de uma biblioteca de classes para desenvolvimento dos testes e aplicativos para execução dos mesmos. É utilizada para a validação de pequenas unidades de código-fonte.

## TestMatrix

O TestMatrix (SUBMAIN, 2010) é uma ferramenta que se integra ao Visual Studio e permite a execução dos testes de unidade dentro do mesmo, indicando quais testes executaram, se a execução ocorreu com sucesso ou não, e informando todas as linhas de código que a execução percorreu, facilitando a depuração e análise, não apenas dos testes, mas também do código do sistema em si.

## DB4Objects

O Db4Objects, ou db4o (VERSANT CORPORATION, 2010), é um banco de dado orientado a objetos, de código aberto, e totalmente desenvolvido em C#. Ele pode ser integrado ao sistema, eliminando assim a necessidade de um gerenciador de banco de dados executando em paralelo, e facilitando a distribuição do mesmo. No versão final, é apenas uma DLL[[10]](#footnote-11) que é distribuída junta ao aplicativo, não sendo necessária a instalação de um aplicativo adicional.

## Subversion

O Subversion (COLLABNET, INC., 2010) é um sistema de controle de versão, utilizado para manter as mudanças nas versões atuais e anteriores de arquivos como código-fonte e documentos, permitindo assim que sejam analisadas e/ou desfeitas as mudanças no mesmo. O site XP-Dev (EXCENTRIQUE SOLUTIONS, 2010) foi utilizado para fornecer o servidor subversion para este projeto, além de algumas ferramentas para gerenciamento de projeto, e para acesso foi utilizada a ferramenta AnkhSVN (FINES, 2010).

## UML

A UML[[11]](#footnote-12) é uma linguagem de modelagem que permite que o desenvolvedor visualize o desenvolvimento do código de seu trabalho em diagramas padronizados. Surgiu a partir da junção de conceitos desenvolvidos por três pessoas, James Rumbaugh, Grady Booch e Ivar Jacobson (OBJECT MANAGEMENT GROUP, INC., 2010). Para a criação dos diagramas de classe foi utilizado o próprio Visual Studio (ferramenta Class Diagram) e para os demais diagramas foi utilizado o Microsoft Visio (MICROSOFT CORPORATION, 2010).

# Metodologia

Devido à natureza experimental deste trabalho, foi detectada a necessidade de uma sistemática para validação do código implementado. Este capítulo descreve a metodologia utilizada e suas etapas, conforme a Figura 4‑1.

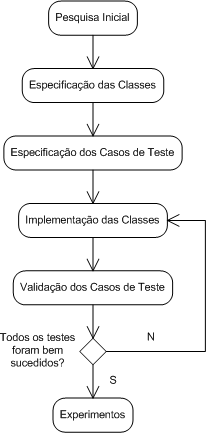


Figura ‑: Fluxo da metodologia utilizada

Como metodologia de desenvolvimento de software, foi baseada no Scrum, que é uma metodologia ágil para gestão e planejamento de projetos de software, utilizando-se também de técnicas de ou TDD[[12]](#footnote-13).

## Pesquisa Inicial

Nesta estapa foram realizados estudos sobre as implementações das tarefas básicas do sistema, como a obtenção de dados de áudio, através de arquivos do tipo Wave e captura de som pela entrada de linha, além da obtenção do espectrograma do sinal de áudio, para sua posterior análise. Este trabalho não irá se deter a melhorar estes algoritmos já que os mesmos são utilizados em outros sistemas há bastante tempo e são considerados triviais.

## Especificação das Classes

Todas as principais classes devem ser especificadas, mas somente o seu nome e sua utilização são importantes neste momento, suas propriedades e métodos serão idealizados no passo a seguir. Esta é também a primeira etapa do TDD.

## Especificação dos Casos de Teste

Já com as classes definidas, deverão ser criados casos de teste que validem a implementação do analisador musical. Estes casos serão criados utilizando-se o NUnit para implementação dos testes de unidade, que referenciam as classes criadas anteriormente. Durante a implementação destes testes serão definidos os métodos das classes do sistema, através de ferramentas disponíveis no Visual Studio. Um exemplo pode ser visto na Figura 4‑2, que mostra o menu Generate Method Stub, o qual permite adicionar métodos ainda não implementados a uma classe de forma automática, e seu resultado no Quadro 4‑1.

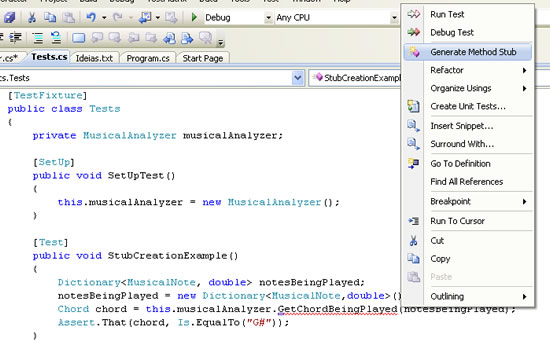


Figura ‑: Exemplo do menu Generate Method Stub

|  |
| --- |
| public class MusicalAnalyzer  {  public Chord GetChordBeingPlayed(Dictionary<MusicalNote, double>  notesBeingPlayed)  {  throw new NotImplementedException();  }  } |

Quadro ‑: Exemplo do método gerado pelo Visual Studio

Analisando o código gerado automaticamente, nota-se que ele dispara uma exceção do tipo NotImplementedException. Essa exceção é importante, pois nos informa que o método ainda não foi implementado e faz com que o teste que utiliza este método falhe. O desenvolvimento utilizando TDD preza que se escreva o máximo de testes e que todos eles falhem nesta fase.

## Implementação das Classes

Após especificados os testes, o código dos métodos gerados deverá ser implementado, bem como métodos auxiliares (privados) que estes necessitem. A idéia aqui é escrever o código que faça com que os testes de unidade deixem de falhar, validando assim a implementação das classes.

A fim de facilitar o desenvolvimento, serão definidos como base o acorde G (Sol Maior) para verificar o reconhecimento de um acorde único, e a seqüência G D Em C (Sol Maior, Ré Maior, Mi Menor e Dó Maior) para verificar a extração de uma seqüência de acordes em uma passagem de som.

## Validação dos Casos de Teste

Neste ponto os testes deverão ser executados. O que se espera é que todos eles não falhem para que possa se prossiga com os experimentos, caso contrário, deverá voltar à fase anterior e tentar encontrar as falhas de implementação das classes.

Como visto na figura 4.1, esta etapa processo deve ser repetido tantas vezes quanto necessário, durante a implementação do projeto, até que se tenha certeza de que nenhuma das classes possua alguma falha que possam interferir nos experimentos e invalidar este trabalho.

Para a execução dos testes, serão utilizados arquivos Wave gravados a partir de acordes tocados em um instrumento musical selecionado, a fim de automatizá-los. Aqui serão testados os reconhecimentos de vários acordes e seqüências, diferentes dos citados anteriormente.

## Experimentos

Por fim, após os testes serem executados exaustivamente, deverão ser realizados experimentos que comprovem a eficácia dos algoritmos implementados em relação à detecção de acordes. Deverão ser utilizadas várias músicas, tocadas com pelo menos dois instrumentos diferentes.

Para esta etapa os experimentos deverão ser realizados tanto com arquivos Wave pré-gravados, como com instrumentos musicais reais (violão e guitarra), e seus resultados analisados.

# Implementação

Este capítulo apresenta os conceitos e algoritmos utilizados na implementação do sistema proposto neste trabalho, bem como as classes pelas quais é composto o sistema. Os algoritmos foram desenvolvimentos, tanto o código como os comentários, utilizando somente palavras da língua inglesa, visando à internacionalização do código-fonte desenvolvido. No corpo desde capítulo será explicado o que cada um deles realiza.

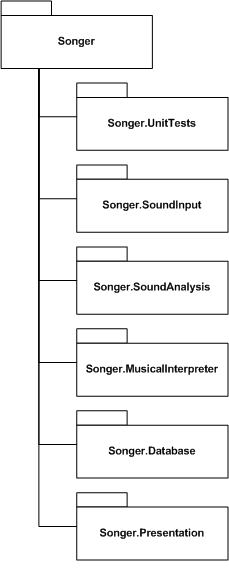


Figura ‑: Diagrama dos módulos do projeto.

O sistema foi divido em módulos para facilitar a implementação e futuro entendimento do mesmo. Como o Visual Studio possui o conceito de uma área de trabalho (conhecida como solução) composta de um ou mais projetos, cada modulo foi desenvolvido como um projeto separado dentro de uma única solução chamada Songer. A Figura 5‑1 apresenta a representação gráfica da solução, mostrando os módulos e seus namespaces[[13]](#footnote-14).

## Songer.UnitTests

Este módulo contém os testes de unidade que serão escritos antes da implementação dos outros módulos, para fazer a posterior validação dos mesmos, de acordos com as regras de TDD.

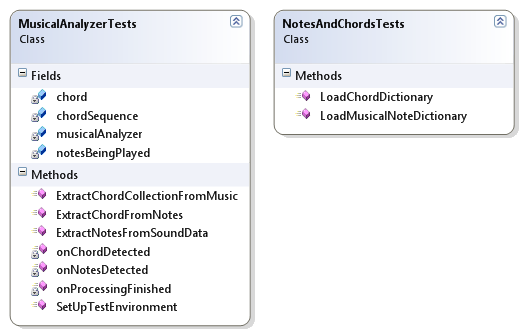


Figura ‑: Diagrama de classes do módulo Songer.UnitTests

De acordo com a Figura 5‑2, há apenas duas classes de testes, e ambas são referentes ao módulo Songer.MusicalInterpreter. A opção de não escrever testes para os outros módulos é porque os mesmos servem de apoio ao Songer.MusicalInterpreter, que é a parte central deste trabalho, e portanto, serão indiretamente testados quando este o for.

### Classe MusicalAnalyzerTests

Esta classe possui os principais testes do projeto. Eles verificarão se o sistema consegue extrair um conjunto de notas musicais a partir de uma leitura de entrada de áudio, em seguida se ele consegue informar qual acorde é formado por este conjunto de notas, e por último se ele é capaz de mostrar toda a seqüência de acordes contida em uma passagem de uma música. O Quadro 5‑1 mostra o último teste, que se certifica de que o módulo de análise musical consegue devolver uma sequencia de acordes correta, a partir de uma passagem de som.

|  |
| --- |
| [Test]  public void ExtractChordCollectionFromMusic()  {  this.musicalAnalyzer.AnalyzeAudio(@"..\Sounds\Seq1.wav");  while (this.chordSequence == string.Empty)  {  Thread.Sleep(100);  }  Assert.That(this.chordSequence, Is.EqualTo("G D Em C"));  }  private void onProcessingFinished(object sender,  AudioProcessingFinishedEventArgs e)  {  this.chordSequence = e.Chords;  } |

Quadro ‑: Exemplo de teste de unidade

### Classe NotesAndChordsTests

Esta classe é um pouco mais simples que a anterior e irá averiguar apenas se os dicionários de notas musicas e de acordes (contidos em arquivos de textos, nomeados Notes.txt e Chords.txt, respectivamente) são lidos de forma correta, já que eles serão utilizados pelo MusicalAnalyzer.

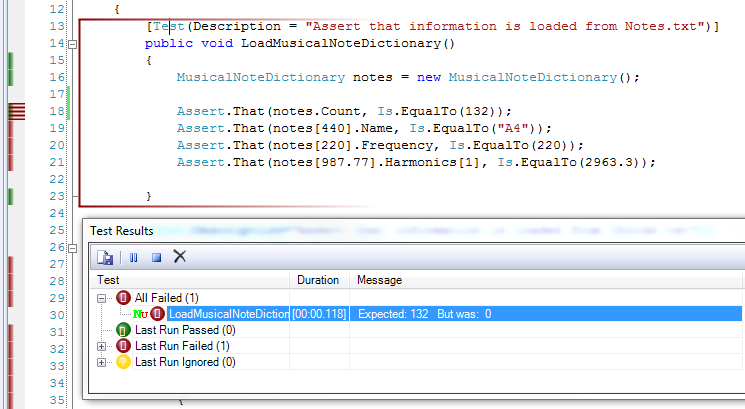


Figura ‑: Exemplo de falha de teste.

Como mencionado no item 4.3 (Especificação dos casos de teste), o código destas classes deverá ser escrito antes da implementação dos outros módulos do sistema, fazendo com que os testes falhem. A Figura 5‑3 mostra o resultado da execução do teste nesta fase.

## Songer.SoundInput

Este módulo é responsável pela obtenção de dados referentes a sinais de áudio, para que estes possam ser posteriormente analisados pelo módulo Songer.SoundAnalysis. A Figura 5‑4 apresenta as classes que o compõe.

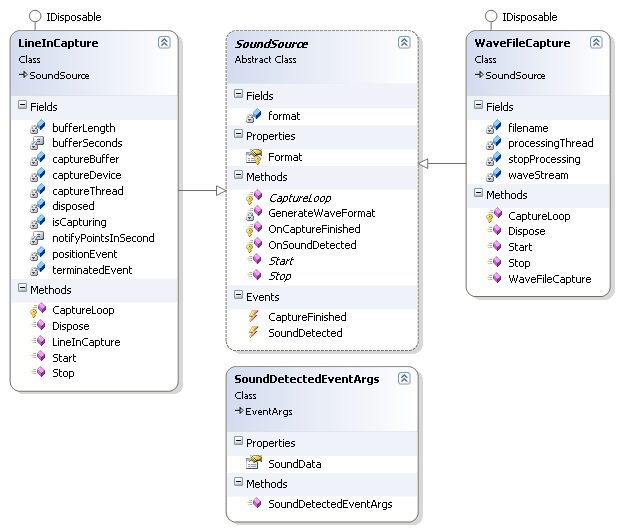


Figura ‑: Diagrama de classes do módulo Songer.SoundInput

Este módulo é composto por quatro classes, sendo uma abstrata que serve de modelo para implementação das classes de obtenção de dados, duas implementações de formas de obtenção de dados e uma classe para passar objetos em eventos gerados por estas classes.

### Classe SoundSource

Esta é uma classe abstrata, não sendo utilizada diretamente, mas servindo de base às classes WaveFileCapture e LineInCapture. Ela é responsável por criar um modelo de funções que as classes que herdam dela devem implementar, além de implementar algumas funções essenciais, como por exemplo, fornecer o formato padrão de arquivo wave utilizado.

A função GenerateWaveFormat cria um instancia da classe WaveFormat, que contém as informações de formato do arquivo wave com o qual se está trabalhando. Para este trabalho, o formato é o mesmo utilizado em CD-Áudio, com 44100 amostragens de 16 bits por segundo (44100Hz/16-bit), mas com apenas um canal (mono), já que o instrumento utilizado nos testes (guitarra) fornece apenas um único canal de áudio.

A classe SoundSource fornece também dois eventos: SoundDetected e CaptureFinished, que são disparados, respectivamente, sempre que um conjunto de dados de som está disponível para ser processado e quando não há mais dados a serem processados.

Por fim, a classe fornece três métodos abstratos que todas as classes que herdam desta devem implementar: Start e Stop, responsáveis por iniciar e parar a captura de som; e CaptureLoop, executado como uma *thread[[14]](#footnote-15)* secundária, onde ocorre a leitura do buffer de som. Vale ressaltar que esta *thread* adicional é importante para que o sistema continue realizando a captura (principalmente quando de um instrumento musical) continuamente, mesmo quando os outros módulos estão processando as informações que já lhe foram passadas.

### Classe LineInCapture

A primeira classe que herda de SoundSource é a LineInCapture, responsável pela captura de som a partir de um dispositivo de entrada (por padrão, o line-in da placa de som). Para isso, foram utilizadas as APIs do DirectSound, em especial as classe DirectSoundCapture, que realiza a captura do som, e a classe CaptureBuffer, que armazena temporariamente a informação que foi capturada.

No método Start são criadas instancias destas duas classes, para se realizar a captura. Além disso, são criadas também posições de notificação (duas a cada segundo), que fará o papel de semáforo, permitindo que o buffer do som que já foi capturado seja lido rapidamente e repassado para o processamento nas classes de análise de sinal.

Em seguida, a classe inicializa a thread secundária, tendo o método CaptureLoop como código de execução. Nele o buffer de captura é inicializado e fica aguardando uma das mensagens de notificação para realizar a leitura. Quando isto ocorre, ele dispara o evento OnSoundDetected, passando os dados lidos do buffer para as classes inscritas neste evento, e em seguida volta a esperar a próxima notificação.

Por fim, o método Stop elimina a thread, fechando todos os objetos de captura. Vale salientar que esta classe funciona de forma automática. Quando o usuário informar que quer gravar um som, a mesma deve ler o buffer continuamente até que seja detectado um sinal de entrada de som, e quando o mesmo acabar (o que implica que o usuário parou de tocar), a própria classe deve chamar o método Stop automaticamente.

### Classe WaveFileCapture

A outra classe que herda de SoundSource é a WaveFileCapture, que é responsável por ler a informação de áudio diretamente de um arquivo wave previamente gravado. A principal utilidade da mesma é para fazer a inserção de informações no banco de dados de forma mais rápida e automatizada, podendo o operador fazer a leitura de diversos arquivos ao invés de precisar “tocar” cada uma das músicas em um instrumento.

O seu construtor permite informar o nome do arquivo que será lido, sendo necessário que seja criado um novo objeto sempre que se quiser ler importar uma nova música ao banco, tendo em vista que após o processamento do arquivo a thread de captura é finalizada automaticamente. Para a leitura, foi utilizada a classe WaveStream (disponível no SlimDX), que facilita a leitura e interpretação de arquivos wave.

Nesta classe o método Start realiza apenas a criação da thread de captura. O buffer de captura e as notificações não são necessárias pois, diferente de uma entrada de linha, todos os dados do áudio já são conhecidos e finitos.

No loop de captura, é realizada a leitura do arquivo wave, enviando para processamento um segundo de áudio por vez, e saindo do loop (encerrando assim a thread) assim que for processado o último segundo de áudio do arquivo.

O método Stop desta classe aborta a thread imediamente, sendo útil quando se quiser cancelar a leitura de um arquivo.

### Classe SoundDetectedEventArgs

A utilidade desta classe é fornecer um conjunto de dados relevantes ao som detectado e que serão disponibilizados à classe que se inscreveu ao evento SoundDetected da classe SoundSource quando o mesmo for disparado.

## Songer.SoundAnalysis

Este módulo é responsável pelo processamento do áudio capturado pelo Songer.SoundInput e geração do espectrograma do mesmo, que será analisado posteriormente pelo módulo Songer.MusicalInterpreter. A Figura 5‑5 apresenta as classes pertencentes a este módulo.

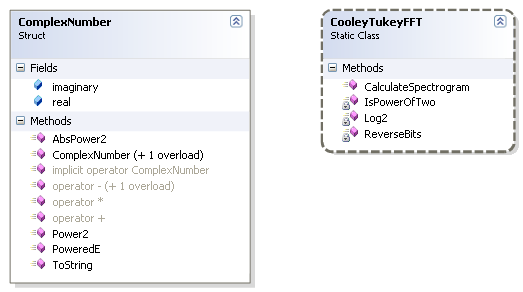


Figura ‑: Diagrama de classes do módulo Songer.SoundAnalysis

Este módulo é composto de apenas uma classe e uma estrutura de dados. A estrutura é uma implementação de números complexos e a classe é uma implementação do algoritmo Cooley-Tukey. Ambos são baseados nas implementações do artigo *FFT Guitar Tuner* (THE CODE PROJECT, 2010).

### Estrutura ComplexNumber

Esta estrutura armazena um número complexo, tendo suporte a quase todas as operações básicas (soma, subtração e multiplicação), além de algumas adicionais, como potência de 2 (normal e absoluta) e exponenciação. Esta estrutura é necessário para o calculo da FFT.

### Classe CooleyTukeyFFT

Realiza a extração do espectrograma do som através do algoritmo FFT de Cooley-Tukey. Primeiramente se certifica de que o tamanho do vetor é uma potencia de dois (senão, adiciona itens zerados até que seja uma potencia de dois), em seguida gera um vetor inverso dos dados de som, calculando então a FFT. Com o resultado da FFT, cria-se um vetor to tipo Double[], onde cada item é uma representação de uma freqüência, e o seu valor é a amplitude do som referente àquela freqüência. Por fim, retorna este vetor para a função de origem.

## Songer.MusicalInterpreter

Este é o módulo principal do projeto, responsável pela interpretação do espectrograma (freqüência e amplitude dos sinais) e sua conversão em notas musicais (de acordo com a freqüência fundamental de cada nota). Além disso, este módulo também realiza a conversão do conjunto de notas em um determinado espaço de tempo para o acorde que as possui. A Figura 5‑6 apresenta as classes que compõem este módulo.

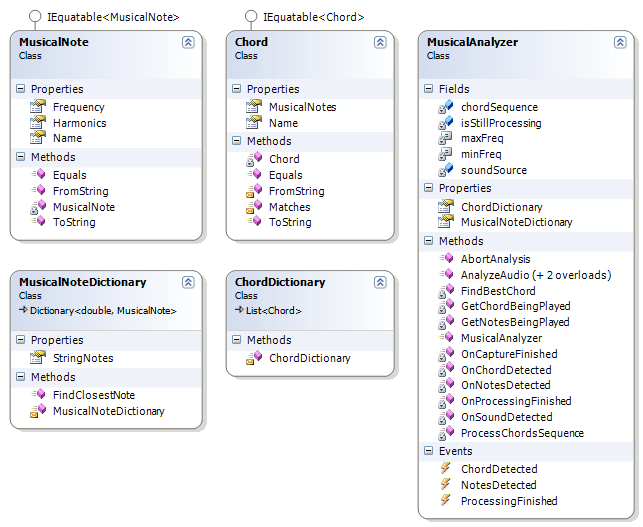


Figura ‑: Diagrama de classes do módulo Songer.MusicalInterpreter

O módulo é composto de cinco classes, sendo duas delas utilizadas para representação de notas e acordes (MusicalNote e Chord), outras duas para representar dicionários de notas e acordes (MusicalNoteDictionary e ChordDictionary), e a última responsável pela análise de espectrograma (MusicalAnalyzer).

### Classe MusicalNote

Esta classe representa uma nota musical, tendo o seu nome (no padrão <nota><oitava><sustenido?>), sua freqüência fundamental (que representa a nota), e os harmônicos que esta nota também gera. Para se criar um instancia dessa classe, todas estas informações devem ser passadas em forma de string, no padrão <nome nota>,<freqüência fundamental>,<harmônico 1>,...,<harmônico n>.

Esta classe implementa a interface IEquatable, que será útil para fazer a comparação de duas instancias apenas pelo seu nome, ignorando as freqüências, e tornando-a mais rápida.

### Classe MusicalNoteDictionary

Esta classe representa o conjunto de todas as notas musicais audíveis, da oitava 0 (C0 ou Dó 0) até a oitava 10 (B10 ou Si 10). Ela o faz através da leitura do arquivo Notes.txt, que possui todas as informações de nota no padrão informado no parágrafo anterior, sendo uma nota por linha lida. Ao ler o arquivo, a classe armazena a posição da coleção onde estão armazenadas as informações das notas correspondentes às cordas soltas da guitarra, disponibilizando esta informação através da propriedade StringNotes.

O único método disponível nesta classe, FindClosestNote, é responsável por encontrar a nota mais próxima à freqüência informada. Ela é necessária pois nem todas as freqüências que espectrograma disponibilizou são absolutas em relação às notas musicas, além de a guitarra poder estar um pouco desafinada ou até mesmo a posição do dedo pode causar uma variação na casa de décimos de hertz, imperceptível ao ouvido humano, mas não para o computador, que é mais sensível a estas mudanças de freqüência.

### Classe Chord

Semelhante à classe MusicalNote, esta classe armazena as informações de um acorde, sendo elas o nome do mesmo (por exemplo Gm, para Sol Menor) e as notas que compõem o mesmo (de 3 a 6 notas).

Assim como a classe MusicalNote, esta classe é instanciada a partir de uma string com as informações do acorde, no padrão <nome> <6 5 4 3 2 1>, onde os números representam a posição do dedo no braço da guitarra para a formação de um acorde. A partir da nota da corda solta (como mencionado anteriormente, disponibilizada pela classe MusicalNoteDictionary), é possível somar o número de casas até e saber qual exatamente é a nota musical naquela casa específica.

A interface IEquatable é implementa também na classe Chord devido à necessidade de comparar acordes. Aqui são comparados apenas os nomes dos mesmos, já que, independente das notas que o formem, se eles possuem o mesmo nome é porque, para o ouvido humano, o som de ambos os acordes, em uma música, são complementares, então um pode facilmente substituir o outro. Além disso, esse tipo de comparação será importante mais à frente, na classe MusicalAnalyzer.

Esta classe também implementa o método Matches, que recebe como parâmetro um conjunto de notas musicais e verifica se o acorde da mesma pode ser formado com estas notas, sendo este método um dos pontos chave do sistema. O Quadro 5‑2 mostra a sua implementação.

|  |
| --- |
| internal bool Matches(IEnumerable<MusicalNote> notesBeingPlayed)  {  foreach(MusicalNote note in this.MusicalNotes)  {  if (!notesBeingPlayed.Contains(note))  return false;  }  return true;  } |

Quadro ‑: Código-fonte do método Chord.Matches

### Classe ChordDictionary

Esta classe representa um dicionário de acordes, lido a partir do arquivo Chors.txt, contendo uma lista de strings no padrão de acorde informado no parágrafo anterior. Nenhuma propriedade ou método adicional é fornecido, somente a lista de acordes, que é a própria classe.

### Classe MusicalAnalyzer

Esta é a principal classe do sistema, que irá realizar o processamento dos dados obtidos (espectrograma) para extração da informação procurada (notas e acordes). Devido ao grande número de métodos exclusivos deste projeto implementados nesta classe, será dada uma ênfase maior à explicação de cada um deles.

Além dos métodos, esta classe possui também três eventos que podem ser inscritos por classes que a utilizem: NotesDetected, que retorna um conjunto de notas musicais a cada notificação de processamento; ChordDetected, que retorna o possível acorde formado pelo conjunto de notas repassado anteriormente; e por fim, o evento ProcessingFinished, que além de informar que a análise foi finalizada, retorna também o conjunto de acordes encontrado no áudio.

O primeiro método é o AnalyzeAudio, que pode ser chamado de duas formas: passando como parâmetro uma música (informando o caminho do arquivo Wave), ou sem parâmetro, o que automaticamente inicia a recepção de áudio pela entrada de linha do computador. A partir disto, ele se inscreve nos eventos do objeto de entrada (que é do tipo SoundSource, explicado anteriormente), que fornecerão a ele os dados para processamento (espectrograma e informação de término da captura).

O método AbortAnalysis permite que a análise seja interrompida prematuramente, mas ainda assim, as informações já processadas são retornadas através da chamada do evento ProcessingFinished.

Estes dois métodos supracitados são os únicos públicos (isto é, que podem ser chamados por outras classes) que esta classe possui. Os demais são todos privados e se comunicam com as outras classes através de eventos.

O primeiro deles é o OnSoundDetected, que é chamado quando ocorre o evento SoundDeteced no objeto SoundSource criado na chamada do método AnalyzeAudio. Sua função é receber o espectrograma, e chamar os métodos para extração de notas musicais e acordes, disparando então os eventos NotesDetected e ChordDetected, além de armazenar o acorde em uma lista para posterior formação da seqüência de acordes. O Quadro 5‑3 mostra esta sua implementação.

|  |
| --- |
| private void OnSoundDetected(object sender, SoundDetectedEventArgs e)  {  Dictionary<MusicalNote, double> notesBeingPlayed =  this.GetNotesBeingPlayed(e.SoundData);  if (notesBeingPlayed.Count > 0)  {  this.OnNotesDetected(notesBeingPlayed);  }    Chord chordBeingPlayed = this.GetChordsBeingPlayed(notesBeingPlayed);  if (chordBeingPlayed != null)  {  this.OnChordDetected(chordBeingPlayed);  this.chordSequence.Add(chordBeingPlayed);  }  } |

Quadro ‑: Código-fonte do método MusicalAnalyzer.OnSoundDetected

O método GetNotesBeingPlayed é o responsável pela extração das notas musicais. Isso é realizado primeiramente extraindo-se o espectrograma do som, e em seguida fazendo a tradução do mesmo para notas musicais, armazenando apenas as que têm uma amplitude aceitável. O mostra a implementação do mesmo. Devido ao tamanho do código, foram incluídos alguns comentários em português para facilitar o entendimento. Sua implementação pode ser vista no Quadro 5‑4.

|  |
| --- |
| private Dictionary<MusicalNote, double> GetNotesBeingPlayed(  short[] soundData)  {  Dictionary<MusicalNote, double> notesBeingPlayed = new  Dictionary<MusicalNote, double>();  // Chama o módulo SoundAnalysis para retornar  // o espectrograma dos dados de som recebidos  double[] spectrogram = CooleyTukeyFFT.CalculateSpectrogram(soundData);    // Descobre qual a frequência que possui a amplitude  // mais alta de som  int index = 0;  double max = spectrogram[0];  int usefullMaxSpectr = Math.Min(spectrogram.Length,  (int)(maxFreq \* spectrogram.Length / 44100) + 1);  for (int i = 1; i < usefullMaxSpectr; i++)  {  if (max < spectrogram[i])  {  max = spectrogram[i];  index = i;  }  }  // Processa apenas se a frequência encontrada for maior  // que a frequência mínima que um violão/guitarra pode emitir  if (((double)44100 \* index / spectrogram.Length) > minFreq)  {  // Percorre todo o espectrograma e guarda na lista apenas  // as notas com frequência e amplitude aceitáveis  for (int i = 1; i < usefullMaxSpectr; i++)  {  // Encontra a frequência da nota  double freq = (double)44100 \* i / spectrogram.Length;  double amplitude = spectrogram[i];  if (freq < minFreq || amplitude < 80000000000000)  continue;  amplitude /= 1000000000000;  MusicalNote musicalNote =  MusicalAnalyzer.MusicalNoteDictionary.FindClosestNote(freq);  // Como uma mesma nota pode aparecer mais de uma vez,  // salva a maior amplitude em que ela aparecer  if (notesBeingPlayed.ContainsKey(musicalNote))  {  if (notesBeingPlayed[musicalNote] < amplitude)  notesBeingPlayed[musicalNote] = amplitude;  }  else  {  notesBeingPlayed.Add(musicalNote, amplitude);  }  }  }  return notesBeingPlayed;  } |

Quadro ‑: Código-fonte do método MusicalAnalyzer.GetNotesBeingPlayed

Quanto à extração de acordes, o método GetChordBeingPlayed faz uso das notas musicais encontradas, filtrando-as para que sejam utilizadas apenas as 12 de maior amplitude, já que o resto é apenas ruído. Para isso foi utilizado o LINQ[[15]](#footnote-16).

Em seguida, é chamado o método Matches da classe Chord (mostrado no item 5.4.3) para cada objeto de acorde no dicionário ChordDictionary, salvando em uma lista de possíveis acordes. Terminada a busca, deverá ser retornado o acorde correto, mas podem ocorrer três casos diferentes:

* Nenhuma acorde foi encontrado: retorna nulo;
* Apenas um acorde foi encontrado: retorna o mesmo;
* Dois ou mais acordes encontrados: chama o método FindBestChord para encontrar o de maior probabilidade.

O apresenta a implementação deste método, novamente com comentários em português para melhor explicação de suas partes.

|  |
| --- |
| private Chord GetChordBeingPlayed(Dictionary<MusicalNote, double>  notesBeingPlayed)  {  List<Chord> possibleChords = new List<Chord>();  // Certifica-se que pelo menos 3 notas foram tocadas,  // já que um acorde é formado de pelo menos 3 notas (tríade)  if (notesBeingPlayed.Count > 2)  {  // Filtra apenas as 12 notas com maior amplitude utilizando LINQ  IEnumerable<MusicalNote> filteredNotes =  (from note in notesBeingPlayed  orderby note.Value select note.Key).Take(12);    // Verifica quais são os possíveis acordes, de acordo  // com as notas musicais  foreach (Chord chord in MusicalAnalyzer.ChordDictionary)  {  if (chord.Matches(filteredNotes) &&  !possibleChords.Contains(chord))  {  possibleChords.Add(chord);  }  }  }  switch (possibleChords.Count)  {  case 0: //Nenhum acorde encontrado  return null;  case 1: //Apenas um acorde encontrado  return possibleChords[0];  default: //Vários acordes encontrados  //Tentar encontrar o de maior probabilidade  return this.FindBestChord(notesBeingPlayed, possibleChords);  }  } |

Quadro ‑: Código-fonte do método MusicalAnalyzer.GetChordBeingPlayed

O método FindBestChord realiza um cálculo de probabilidade de acordo com a amplitude das notas, trazendo aquela que possuir um conjunto de notas com maiores amplitudes, como pode ser visto no Quadro 5‑6.

|  |
| --- |
| private Chord FindBestChord(Dictionary<MusicalNote, double>  notesBeingPlayed, List<Chord> chords)  {  Chord bestChord = null;  double bestChordAmplitude = 0;  double chordAmplitude;  // Percorre a lista de acordes para saber qual deles  // é composto pelas notas de maiores amplitudes  foreach (Chord chord in chords)  {  chordAmplitude = 0;  foreach (MusicalNote note in chord.MusicalNotes)  {  // Soma a amplitude de cada nota  chordAmplitude += notesBeingPlayed[note];  }  // Se for a maior soma de amplitude encontrada, armazena o acorde  if (chordAmplitude > bestChordAmplitude)  {  bestChordAmplitude = chordAmplitude;  bestChord = chord;  }  }    return bestChord;  } |

Quadro ‑: Código-fonte do método MusicalAnalyzer.FindBestChord

O último método desta classe a ser mencionado é o ProcessChordsSequence, que faz a organização da cifra antes de devolvê-la através do evento ProcessingFinished.

A seqüência de acordes capturada deverá ter vários acordes repetidos de forma continua, já que ele pode ter sido tocado, sem parar, por mais de meio segundo, ou seja, uma seqüência “G D Em C” poderá ter sido armazenada até aqui como, por exemplo, “G G D D D Em Em Em C”.

Como neste trabalho o ritmo e tempo da música foram ignorados, pois os mesmos não são representados por cifras, basta apenas saber os acordes a cada nova troca. O Quadro 5‑7 apresenta esta implementação.

|  |
| --- |
| private string ProcessChordsSequence()  {  List<Chord> finalChordSequence = new List<Chord>();  StringBuilder s = new StringBuilder();  //Elimina os acordes repetidos continuamente  //Adiciona somente se for diferente do último acorde inserido  foreach (Chord chord in this.chordSequence)  {  if (finalChordSequence.Count == 0)  {  finalChordSequence.Add(chord);  }  else if (!chord.Equals(finalChordSequence.Last()))  {  finalChordSequence.Add(chord);  }  }  //Adiciona todos os acordes a uma única string  foreach (Chord chord in finalChordSequence)  {  s.AppendFormat("{0} ", chord.Name);  }  //Remove o espaço a mais no final da string  return s.Remove(s.Length - 1, 1).ToString();  } |

Quadro ‑: Código-fonte do método MusicalAnalyzer.ProcessChordsSequence

## Songer.Database

Este é o módulo responsável pela persistência e busca dos dados processados pelo sistema. Com a utilização do Db4Objects, o código pode ser bastante resumido. A Figura 5‑7 mostra as classes do mesmo.

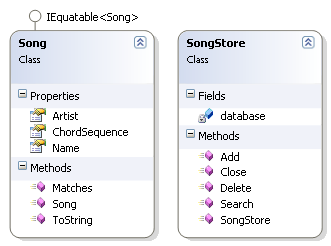


Figura ‑: Diagrama de classes do módulo Songer.Database

### Classe Song

Esta classe armazena as informações de uma música processada, como o nome do artista e o nome da mesma, além da seqüência de acordes que foi encontrada após o seu processamento.

Um ponto importante para se ressaltar nesta classe é o método Matches, que deve receber uma pequena seqüência de acordes e verificar se ele faz parte da música em questão. Com a escolha da plataforma .NET, este trabalho ficou resumido a uma única linha de código, como se pode visualizar no Quadro 5‑8.

|  |
| --- |
| public bool Matches(string chordSequence)  {  return this.ChordSequence.Contains(chordSequence);  } |

Quadro ‑: Código-fonte do método Song.Matches

### Classe SongStore

Esta classe é responsável pelo armazenamento e busca dos dados. Como foi utilizado um banco de dados orientado a objetos, instancias da classe Song podem ser armazenadas diretamente, através dos métodos Add e Delete, que recebe uma delas como parâmetro e realizam a operação requisitada, como se pode ver no Quadro 5‑9.

|  |
| --- |
| private IObjectContainer database;  public SongStore()  {  this.database = Db4oEmbedded.OpenFile("SongStore.yap");  }  public void Add(Song song)  {  this.database.Store(song);  this.database.Commit();  }  public void Delete(Song song)  {  this.database.Delete(song);  this.database.Commit();  } |

Quadro ‑: Código-fonte dos métodos SongStore.Add e SongStore.Delete

Ainda em relação ao Quadro 5‑4, nota-se que o construtor apenas chama uma função para abrir um arquivo de extensão yap. Este arquivo é onde o Db4Objects armazena todos os dados após a execução do método Commit.

O método Search faz uso de predicados (disponível somente a partir da versão 3.0 do .NET Framework), que permite definir critérios e avaliar quais objetos atendem a este critério. Sua implementação é apresentada no Quadro 5‑10.

|  |
| --- |
| public IList<Song> Search(string chordSequence)  {  return this.database.Query<Song>(s => s.Matches(chordSequence));  } |

Quadro ‑: Código-fonte do método SongStore.Search

O método genérico Query necessita que seja passado um tipo, que neste caso foi a classe Song, que será utilizada no predicado e também como tipo de retorno (IList<Song>). O parametro do método é um predicado que informa que, para todo objeto s (que é do tipo Song) encontrado no banco de dados, chame o método Matches (que retorna um tipo booleano) do mesmo, passando chordSequence como parâmetro. Caso o retorno seja verdadeiro, o objeto será adicionado à lista de retorno.

## Songer.Presentation

Este é módulo que possui a tela de apresentação ao usuário. Diferente dos anteriores, este módulo não se preocupa em realizar qualquer tipo de processamento, mas utiliza-se (direta ou indiretamente) de todos os outros módulos para receber e apresentar informações para o usuário. A tela é dividida em duas abas, uma para a busca de informações, e a outra para inserção das mesmas.

### Tela Inserir

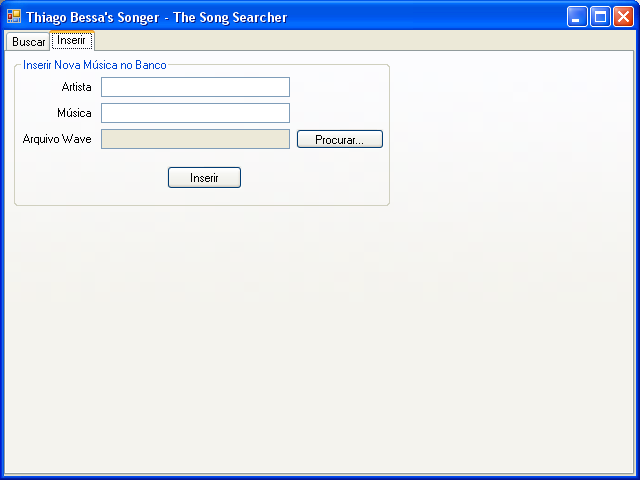


Figura ‑: Tela de inserção de nova música

Esta tela permite ao usuário inserir novas músicas ao banco de dados. Aqui o mesmo deverá informar o nome do artista, o nome da música e o arquivo Wave da mesma. O sistema irá então chamar o método AnalyzeAudio da classe MusicalAnalyzer e, quando terminado o processamento, juntar às outras informações a sequencia de acordes que foi retornada, criar uma instancia da classe Song com estes dados e salvá-lo no banco de dados. Essa tela pode ser vista na Figura 5‑8.

### Tela Buscar

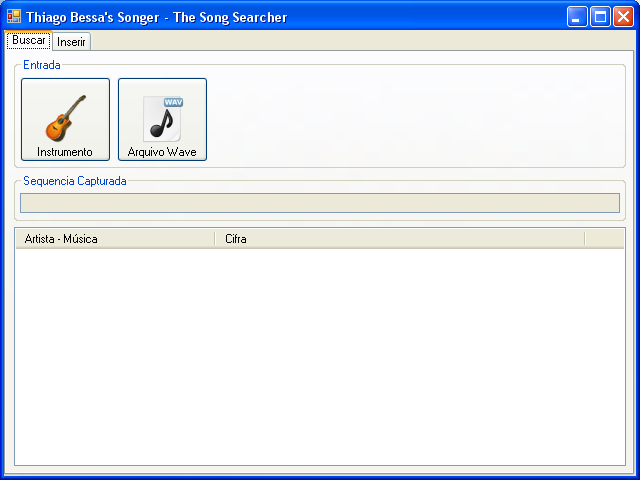


Figura ‑: Tela de busca de música

Como se pode notar na Figura 5‑9, a tela de busca permite ao usuário escolher entre duas formas de entrada: uma de instrumento (através da entrada de linha, ou microfone) e outra por arquivo Wave. Após a entrada do som, o mesmo será processado, e com a seqüência de acordes retornada, será realizada uma busca no banco de dados pelas músicas que possuam pelo menos parte da seqüência igual, sendo as músicas semelhantes apresentadas na lista inferior. Além disso, a seqüência de acordes capturada também é apresentada ao usuário.

# Experimentos

Para a realização dos experimentos foram escolhidos três instrumentos musicais, isto é ideal pois ajudará a analisar melhor a eficácia dos algoritmos implementados. Os instrumentos são:

* Violão Tagima Dallas, com cordas de aço;
* Guitarra Squier Strat, de 1999 com origem chinesa, usando captação tripla do tipo single-coil[[16]](#footnote-17);
* Guitarra Tagima T-735 Top HH, de 2007 com origem brasileira, usando captação dupla do tipo humbucker[[17]](#footnote-18).

A idéia de usar duas guitarras (além do violão) é porque cada uma irá gerar um timbre diferente da outra, já que a primeira possui uma captação que deixa escapar alguns ruídos e deixa o som mais brilhante, enquanto a segunda possui uma captação que limpa mais o som, deixando-o mais grave, mas possivelmente eliminando algumas freqüências. Além disso, a origem e ano diferentes garantem que a madeira utilizada também é diferente, certificando que assim o timbre gerado antes mesmo da captação já é diferente.

Além disso, foram escolhidas 10 músicas, sendo elas divididas em cinco pares, onde cada par tem pelo menos uma parte da música com os mesmos acordes, mas cada uma das duas é tocada em um ritmo diferente. Os pares musicais são:

1. Será (Legião Urbana) e Wherever You Will Go (The Calling);
2. With or Without You (U2) e Please (Thiago Bessa);
3. Mulher de Fases (Raimundos) e Vida Passageira (Thiago Bessa);
4. The Kids Aren’t Allright (The Offspring) e The Scientist (Coldplay);
5. Pais e Filhos (Legião Urbana) e Uma Chance (Thiago Bessa);

Por fim, é necessário criar uma forma de avaliação dos resultados obtidos, que permitam mensurar cada cifra encontrada e informar o quanto ela ficou perto da cifra original da música. A Tabela 6‑1 mostra a pontuação utilizada.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Ocorreu** | Acorde Igual | Acorde Errado | Acorde Adicional |
| **Pontuação** | 0 | -2 | -1 |

Tabela ‑: Tabela de pontuação

Acorde igual é aquele que se espera, e foi encontrado no lugar correto. Um acorde adicional pode ser considerado se, dado uma cifra de N acordes, o retorno foi uma cifra de N + X acordes, sendo que N estão certos, então esse acorde adicional não existe e foi considerado por algum ruído que o software classificou erroneamente como um acorde. E por fim, o errado é aquele que, quando o número de acordes de retorno for igual ao esperado, mas a cifra não for igual, ou ainda, se para uma cifra de N acordes o retorno for igual a N + X e o número de acordes corretos for menor que N.

A Tabela 6‑2 apresenta alguns exemplos de cifras com acordes certos, errados e adicionais, para a cifra “C F Dm G”. Para todos os experimentos, este trabalho seguirá um estilo de cor para localizar cada tipo de acorde:

* Verde indica um acorde correto;
* Vermelho indica um acorde errado;
* Azul indica um acorde adicional.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | **Cifra** | **Pontuação** | **Valor Final** |
| **Análise 1** | C F Dm G | 0 + 0 + 0 + 0 | 0 |
| **Análise 2** | C F E Dm G | 0 + 0 - 1 + 0 + 0 | -1 |
| **Análise 3** | C E Dm G | 0 - 2 + 0 + 0 | -2 |
| **Análise 4** | C E F Dm Gm | 0 - 1 + 0 + 0 - 2 | -3 |

Tabela ‑: Exemplo de análise

As tabelas sempre irão apresentar a análise dos três instrumentos musicais. Quanto mais próximo de 0 for o valor, melhor foi o resultado. A cifra da música será informada, além do estilo musical da mesma, lembrando que em cada par, cada uma das músicas foi escolhida de forma que os estilos musicais sejam diferentes, apesar da cifra ser igual.

## Será / Wherever You Will Go

Essas músicas possuem como cifra original a sequencia **C G Am F**. O estilo musical de Será é rock’n’roll (batidas mais rápidas) e Wherever You Will Go é pop-rock (com batidas mais lentas) Tabela 6‑3.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | **Cifra** | **Pontuação** | **Valor Final** |
| **Violão** | C#m7 G D G Am G#m F |  |  |
| **Guitarra Squier** | C E G Am F | 0-1+0+0+0 | -1 |
| **Guitarra Tagima** | C G Am F | 0+0+0+0 | 0 |

Tabela ‑: Resultados da música Será

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | **Cifra** | **Pontuação** | **Valor Final** |
| **Violão** | C C7 C G Gm Am E Am F |  |  |
| **Guitarra Squier** | C G Am F |  |  |
| **Guitarra Tagima** | C G Am F | 0+0+0+0 | 0 |

Tabela ‑

## With or Without You / Please

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | **Cifra** | **Pontuação** | **Valor Final** |
| **Violão** | E A E Bm G D G |  |  |
| **Guitarra Squier** | D Em A Em Bm G |  |  |
| **Guitarra Tagima** | D A Em Bm G |  |  |

Tabela ‑

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | **Cifra** | **Pontuação** | **Valor Final** |
| **Violão** | A E Bm F# E D |  |  |
| **Guitarra Squier** | D A Bm G D G |  |  |
| **Guitarra Tagima** | D A Bm G |  |  |

## Mulher de Fases / Vida Passageira

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | **Cifra** | **Pontuação** | **Valor Final** |
| **Violão** | G Dm D C7 Em C7 C |  |  |
| **Guitarra Squier** | G D Em C |  |  |
| **Guitarra Tagima** | G G#m G G#m D E C |  |  |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | **Cifra** | **Pontuação** | **Valor Final** |
| **Violão** | G Gm D Em C |  |  |
| **Guitarra Squier** | G D Em C |  |  |
| **Guitarra Tagima** | G D E C |  |  |

## The Kids Aren’t Allright / The Scientist

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | **Cifra** | **Pontuação** | **Valor Final** |
| **Violão** | Dm A# B7 A# C# F C#m7 C |  |  |
| **Guitarra Squier** | Dm F C |  |  |
| **Guitarra Tagima** | Dm D#m C# C#7 C |  |  |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | **Cifra** | **Pontuação** | **Valor Final** |
| **Violão** | Dm A#7 F C#m7 C |  |  |
| **Guitarra Squier** | Dm A# F C |  |  |
| **Guitarra Tagima** | Dm Em F Fm C |  |  |

## Pais e Filhos / Uma Chance

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | **Cifra** | **Pontuação** | **Valor Final** |
| **Violão** | G D Gm G C C#m7 Em C7 Em C |  |  |
| **Guitarra Squier** | G C E Em C |  |  |
| **Guitarra Tagima** | G C C#m C |  |  |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | **Cifra** | **Pontuação** | **Valor Final** |
| **Violão** | G Cm G C E C C7 Em C |  |  |
| **Guitarra Squier** | G Em C E C E Em C |  |  |
| **Guitarra Tagima** | G C#m Em C |  |  |

Segundo

# Conclusão

# Referência Bibliográfica

ADOLFO, A. **O Livro do Músico**. 5. ed. Rio de Janeiro: Lumiar Editora, 1989.

BOWEN, B. A.; BROWN, W. R. **Signal Processing and Signal Processors**. 1. ed. Nova Jersey: Prentice-Hall, v. 1, 1982.

COLLABNET, INC. **Subversion**, 2010. Disponivel em: <http://subversion.tigris.org/>. Acesso em: 07 maio 2010.

EXCENTRIQUE SOLUTIONS. **XP-Dev**, 2010. Disponivel em: <http://www.xp-dev.com/>. Acesso em: 07 maio 2010.

FERREIRA, A. B. D. H. **Minidicionário Aurélio da Língua Portuguesa**. 6. ed. Curitiba: Positivo Editora, 2004.

FINES, A. **ankhsvn:** Subversion Support for Visual Studio, 2010. Disponivel em: <http://ankhsvn.open.collab.net/>. Acesso em: 07 maio 2010.

FURASTÉ, P. A. **Normas Técnicas para o trabalho científico**. 14. ed. Porto Alegre: [s.n.], 2008.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, v. 2, 2006.

HOLST, I. **ABC da Música**. 2. ed. São Paulo: Martins Fontes, 1998.

KURY, A. D. G. **Minidicionário Gama Kury da Língua Portuguesa**. São Paulo: FTP, 2002.

LIBERTY, J.; HOROVITZ, A. **Programando.NET 3.5**. 1. ed. Rio de Janeiro: Alta Books, 2009.

MICROSOFT CORPORATION. **Edições do Visual Studio**, 2008. Disponivel em: <http://www.microsoft.com/visualstudio/pt-br/products/2008-editions>. Acesso em: 07 maio 2010.

MICROSOFT CORPORATION.**.NET Framework Development Center**, 2010. Disponivel em: <http://msdn.microsoft.com/pt-br/netframework/default.aspx>. Acesso em: 07 maio 2010.

MICROSOFT CORPORATION. **Microsoft DirectX**, 2010. Disponivel em: <http://www.microsoft.com/games/en-us/aboutgfw/pages/directx.aspx>. Acesso em: 07 maio 2010.

MICROSOFT CORPORATION. **Visio Homepage**, 2010. Disponivel em: <http://office.microsoft.com/pt-br/visio/default.aspx>. Acesso em: 07 maio 2010.

NORTHRUP, T.; WILDERMUTH, S.; RYAN, B.**.NET Framework 2.0 Application Development Foundation**. 1. ed. Redmond: Microsoft Press, 2006.

NUNIT.ORG. **NUnit Homepage**, 2007. Disponivel em: <http://www.nunit.org/>. Acesso em: 07 maio 2010.

OBJECT MANAGEMENT GROUP, INC. **Object Management Group - UML**, 2010. Disponivel em: <http://www.uml.org/>. Acesso em: 07 maio 2010.

SCRUM ALIANCE, INC. **What is Scrum?**, 2010. Disponivel em: <http://www.scrumalliance.org/learn\_about\_scrum>. Acesso em: 07 maio 2010.

SEVERINO, A. J. **Metodologia do Trabalho Científico**. 23. ed. São Paulo: Cortez Editora, 2008.

SLIMDX GROUP. **SlimDX Homepage**, 2010. Disponivel em: <http://www.slimdx.org/>. Acesso em: 07 maio 2010.

SOARES, J. L. **Fundamentos de Biologia**. 1. ed. São Paulo: Editora Scipione, v. 2, 1998.

STRAUS, J. **Elements of Music**. 2. ed. Nova Iorque: Pearson Prentice Hall, 2008.

SUBMAIN. **TextMatrix - Unit Testing, Code Coverage and Profiling for.NET**, 2010. Disponivel em: <http://submain.com/products/testmatrix.aspx>. Acesso em: 07 maio 2010.

THE CODE PROJECT. **FFT Guitar Tuner**, 2010. Disponivel em: <http://www.codeproject.com/KB/audio-video/FftGuitarTuner.aspx>. Acesso em: 07 maio 2010.

VERSANT CORPORATION. **db4o - Java &.NET Object Database**, 2010. Disponivel em: <http://www.db4o.com/>. Acesso em: 07 maio 2010.

ZYTRAX. **Survival Guide - Digital Audio/Video**, 2010. Disponivel em: <http://www.zytrax.com/tech/audio/>. Acesso em: 10 Março 2010.

1. Lê-se Hertz, a unidade internacional de medida de freqüência. Representa o número de vibrações por segundo, nomeada assim em homenagem ao físico Heinrich Hertz. [↑](#footnote-ref-2)
2. Em países de língua inglesa, as notas são representadas por C (dó), D (ré), E (mi), F (fá), G (sol), A (lá), B (si). [↑](#footnote-ref-3)
3. Originalmente do inglês Attack, Decay, Sustain, Release. [↑](#footnote-ref-4)
4. Tradução livre do Autor [↑](#footnote-ref-5)
5. Do inglês Discrete Fourier Transform [↑](#footnote-ref-6)
6. Tradução livre do autor [↑](#footnote-ref-7)
7. Do inglês Fast Fourier Transform [↑](#footnote-ref-8)
8. Do inglês Rapid Application Development [↑](#footnote-ref-9)
9. Do inglês Application Programming Interface, ou Interface de Programação de Aplicativo, é o conjunto de métodos e regras que um software fornece para que outros softwares possam fazer uso de suas funcionalidades. [↑](#footnote-ref-10)
10. Do inglês Dynamic-Link Library, ou Biblioteca de Ligação Dinâmica. São trechos de códigos compilados que podem ser utilizado por diversos aplicativos. [↑](#footnote-ref-11)
11. Do inglês Unified Modeling Language, ou Linguagem Unificada de Modelagem [↑](#footnote-ref-12)
12. Sigla de desenvolvimento orientado a testes, em inglês Test-Driven Development. Uma forma de desenvolvimento onde os testes são escritos antes da implementação do software. [↑](#footnote-ref-13)
13. Em .NET Framework, Namespace é uma representação de pacote que pode conter outros namespaces, classes e estruturas. [↑](#footnote-ref-14)
14. Conhecida também como *linha de execução,* é o resultado da divisão de um processo em duas ou mais tarefas que executam concorrentemente. [↑](#footnote-ref-15)
15. Do ingles Language-Integrated Query, ou Consulta integrada à linguagem. Permite que sejam realizadas consultas em coleções de objetos, XML ou até mesmo em banco de dados (LINQ to SQL) utilizando a própria linguagem de programação, mas com uma sintaxe semelhante à SQL. [↑](#footnote-ref-16)
16. Bobina de captação simples [↑](#footnote-ref-17)
17. Uma junção de duas bobinas de captação simples, onde uma elimina ruídos gerados pela outra. [↑](#footnote-ref-18)