

Pedro Rodrigues Nacione Pedruzzi
Ricardo A. Redder Jr.

***Reconhecimento e Busca Adaptativos de Padrões
Musicais***

São Paulo – SP

Dezembro / 2008

Pedro Rodrigues Nacione Pedruzzi
Ricardo A. Redder Jr.

***Reconhecimento e Busca Adaptativos de Padrões
Musicais***

Dissertação apresentada à Comissão de
Graduação em Engenharia da Computação da
Escola Politécnica da Universidade de São
Paulo para a obtenção da graduação no curso
de Engenharia da Computação.

Orientador:
Prof. Doutor João José Neto

GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO
DEPARTAMENTO DE SISTEMAS E SINAIS
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

São Paulo – SP

Dezembro / 2008

“A música escondida não tem valor.”

Aulo Gélío

Resumo

Abstract

Sumário

Lista de Figuras

Lista de Tabelas

Introdução	p. 9
1 Motivação	p. 10
2 Objetivo	p. 12
3 Histórico	p. 14
3.1 Histórico dos sistemas de busca	p. 14
3.2 Histórico de técnicas de estimação de frequência	p. 15
4 Resenha Bibliográfica	p. 18
5 Conceitos	p. 19
5.1 Processamento de sinais	p. 19
5.2 Adaptatividade	p. 19
6 Técnicas e procedimentos usados	p. 20
7 Resultados	p. 21
8 Análise	p. 22
9 Crítica	p. 23

10 Melhorias e Trabalhos futuros	p. 24
11 Contribuições	p. 25
Referências Bibliográficas	p. 26

Lista de Figuras

3.1	Influência da frequência fundamental na taxa de cruzamento do eixo	p. 16
-----	--	-------

Lista de Tabelas

Introdução

1 Motivação

Os sistemas de buscas atuais evoluíram rapidamente desde suas primeiras versões, e hoje se tornaram parte fundamental do dia-a-dia de grande parte da população. Em alguns casos chega a ser difícil se imaginar navegando na internet sem utilizar algum sistema de busca. Pode-se citar como exemplo destes sistemas: Google.com (c), Yahoo.com (c) ou Live Search (c).

Porém tais sistemas de busca em geral baseiam-se sobre os mesmos princípios e métodos de busca, em sua maioria se aplicando a documentos de texto. Mesmo alguns sistemas que, por exemplo, efetuam buscas por imagens continuam em sua essência baseando-se nos mesmos princípios, já que se apóiam na categorização destas imagens.

A popularização destes sistemas de busca mostrou as possibilidades de expansão e a importância que tais sistemas podem adquirir no cotidiano das pessoas. Além disso, suas limitações de contexto (restrição a textos apenas) imediatamente levantam a necessidade de novas técnicas com o fim de ampliar os domínios de aplicação destes sistemas.

Um dos domínios de extrema importância com relação a tal tema é o domínio de áudio, devido a fatores como sua popularidade no meio virtual, quantidade de conteúdo disponível, facilidade de produção de conteúdo, etc. Músicas em formatos digitais, tais como MP3, MIDI, WAV, etc. podem ser facilmente encontradas na internet e já se tornaram parte do cotidiano de grande parte da população, além disso, a capacidade de reproduzir tais conteúdos está se tornando cada vez mais um padrão nos aparelhos eletrônicos de áudio. Paralelamente aos conteúdos de áudio digitais, podem-se citar ainda conteúdos de áudio-visual, que recentemente adquiriram grande popularidade, e, analogamente aos conteúdos de áudio, estão cada vez mais se tornando parte importante do ambiente virtual.

Apesar desta popularidade e importância de conteúdos de áudio e áudio-visual, há uma deficiência de métodos de busca para lidar com tais conteúdos. Os métodos de busca tradicionais são capazes apenas de encontrar trechos idênticos dentro de arquivos de áudio. Fato que inviabiliza a criação de sistemas capazes de lidar com incertezas ou variações nos dados de entrada de buscas, analogamente ao que sistemas de busca de texto atuais realizam hoje em dia.

Ambos os domínios, áudio e áudio-visual, poderiam ser beneficiados por um sistema de buscas sobre áudio capaz de lidar com incertezas e variações nos dados de entrada. Um caso típico, e extremamente frequente, é o caso onde um indivíduo é capaz de reproduzir apenas um trecho de uma música e deseja encontrar a mesma. A reprodução deste trecho pelo indivíduo está inerentemente sujeita a variações de diversas ordens com relação à música original. O indivíduo pode reproduzir a música com divergências na frequência, ou no jargão musical, fora do tom, pode divergir com relação ao tempo, ou pode ainda cometer erros com relação às próprias notas musicais, por exemplo, esquecendo uma nota ou inserindo uma nota inexistente. Este caso pode manifestar-se a partir de diversas situações do cotidiano, como ao tentar encontrar uma música ouvida em um filme, um programa de TV, uma rádio, etc.

Este tipo de problema é extremamente difícil para um indivíduo comum devido à falta de ferramentas que possam auxiliar tal busca, já que a grande quantidade de músicas existentes torna inviável uma varredura completa dos repositórios existentes, ou seja, ouvir todas as músicas, uma a uma. Além disso, as formas mais comuns de organização de repositórios musicais recaem sobre estilos musicais e nomes, o que não é o suficiente para endereçar, ou ajudar no problema apresentado, já que, em geral, tais informações não são suficientes para encontrar a música buscada.

Atualmente, a forma mais comum de tentar encontrar uma solução para tal problema é utilizando-se a ajuda de um especialista, que em alguns casos, é capaz de identificar o trecho reproduzido. O problema imediato com tal abordagem é o fato da mesma não ser escalável e de difícil acesso. Além de enfrentar limitações impostas pela própria natureza do especialista, como dificuldade de lidar com grandes quantidades de músicas, diversidades de estilo, etc.

Estes fatos demonstram a demanda por uma ferramenta que possa auxiliar tal tipo de busca, ou seja, uma ferramenta que seja capaz de identificar uma música, ou conteúdo de áudio, que o usuário esteja buscando, utilizando para isso apenas um trecho reproduzido pelo próprio usuário. Tal ferramenta seria análoga aos sistemas de busca correntes, porém aplicado ao domínio de áudio.

2 *Objetivo*

Através deste projeto deseja-se abordar uma questão extremamente ampla, que é a busca sobre conteúdos de áudio, porém, por ser um tema vasto, uma redução de escopo para os fins deste projeto se faz necessária. Assim decidiu-se por focar-se nos pontos de maior relevância para o problema.

Um dos pontos que estabelece a maior barreira para a construção de um sistema como o vislumbrado é a dificuldade de comparação entre dois conteúdos de áudio. Esta comparação não é bem definida, assim não há uma forma consistente de se estabelecer o conceito de distância entre dois conteúdos de áudio, conceito que por sua vez é fundamental para a utilização dos modelos de busca e indexação existentes.

Assim, pretende-se com este trabalho promover um avanço sobre tal questão de comparação de conteúdos de áudio, e para tanto, serão adotadas técnicas pouco exploradas em tal domínio. O projeto se apoiará sobre dois pilares importantes: a utilização de conceitos do domínio musical e o uso de técnicas adaptativas, ambos aplicados à comparação de conteúdos de áudio.

Diversas técnicas têm sido utilizadas para análise e comparação de sinais de áudio, porém, em sua maioria, tais métodos recaem sobre princípios de processamento de sinais, por serem genéricos e possuírem grande aplicabilidade, tendendo a ignorar conceitos específicos do domínio musical, ou seja, conceitos de notas, tempos, etc. Entretanto, tais princípios podem ser de grande relevância quando se deseja efetuar uma busca por músicas. Assim, com este trabalho, aspira-se a utilização de tais conceitos dentro do contexto de comparação de conteúdos de áudio, com o fim de obter melhores resultados.

Paralelamente a isto, deseja-se utilizar técnicas adaptativas no esforço de se obter um método de comparação entre trechos de áudio. A idéia é criar um autômato adaptativo baseado em um trecho de áudio, e assim, um segundo trecho de áudio que submetido a este autômato geraria uma saída que conteria uma indicação da distância entre os dois trechos. Esta distância, reconhecida pelo autômato, entre dois trechos de áudio poderia servir como base de entrada para outros algoritmos tradicionais de ranking. Da junção destes conceitos e ferramentas espera-se

criar um sistema capaz de receber um trecho de áudio de um usuário e identificar dentro de um repositório limitado qual música se corresponde ao trecho reproduzido pelo usuário.

3 *Histórico*

Nesta seção serão apresentados os históricos dos principais temas relacionados ao projeto desenvolvido. Mostrando sucintamente a história que se desenrolou paralelamente dos sistemas de busca e dos avanços dos métodos de manipulação de conteúdos de áudio através dos computadores.

3.1 Histórico dos sistemas de busca

Métodos de busca baseados em texto já são antigos e utilizados há um longo tempo, entre os métodos mais simples pode-se citar o uso índices remissivos. Apesar de simples, este método é extremamente útil e eficiente quando se deseja buscar por uma palavra dentro de um conjunto de documentos. Além deste método simples, existem ainda outras formas de se indexar um documento e efetuar uma busca sobre o mesmo. Porém a aplicação manual destes métodos sempre apresentou dificuldades, pelas dificuldades de indexação de palavras, lentidão de busca, etc.

Como advento dos computadores, tais método passaram a ser implantados por computadores, o que obviamente aumentou sua capacidade, e facilidade de uso. Assim nasceram os primeiros sistemas de busca, juntamente com os computadores. Porém estes métodos eram em sua essência muito simplistas, considerando em geral apenas buscas por trechos exatos.

A idéia dos sistemas de busca da forma como conhecemos hoje surgiu algum tempo depois, já por volta da década de 60, e foi se aprimorando ao longo dos anos. Conceitos como modelo de espaço vetorial, frequência inversa no documento (IDF), frequência do termo (TF), discriminação de termos, relevância e feedback começaram a ser galgados nesta época. Tais técnicas evoluíram muito ao longo dos anos, provendo ferramentas extremamente importantes para efetuar indexação e buscas sobre conjuntos extensos de documentos.

Conforme o tamanho do espaço de busca cresce, maior importância tais técnicas assumem, assim, com o advento da internet, estes métodos adquiriram um papel especial no mundo da

computação. Isso porque a internet abriu a possibilidade de se criar espaços de buscas muito maiores do que até então construídos, já que a superfície de busca poderia ser virtualmente todo documento disponível na rede. Por volta da década de 90 começam então a surgir os sistemas web de indexação e busca, o primeiro sistema deste tipo foi o Archie, porém efetuava buscas apenas sobre nomes de arquivos, e não sobre seus conteúdos. Pouco tempo depois surgiram os primeiros crawlers, componente dos sistemas de busca que se tornou indispensável aos sistemas atuais.

Desde seu início até o presente a ciência de Recuperação de Informação (Information Retrieval) evoluiu muito, e diversos métodos de busca, além de variações, foram criados ao longo destes anos, e hoje se podem citar dois modelos que assumiram importância fundamental nesta ciência o modelo espaço vetorial, e o modelo probabilístico.

Tais modelos e técnicas dão o tom do estudo desta ciência no mundo acadêmico, porém apenas tais conceitos não são o suficiente para se construir um sistema de busca similar aos que encontramos atualmente. Além destes princípios, considerações diversas relacionadas a desempenho, propriedade intelectual, conteúdo impróprio, conteúdo falso, tentativas de manipulação de resultados, etc. devem ser levadas em conta. Hoje, uma das tendências mais fortes de desenvolvimento desta área é a especialização dos sistemas de buscas, levando em conta, por exemplo, aspectos semânticos do tema que constitui o espaço de busca. Relacionado a isso, há também um grande interesse em expandir as fronteiras da ciência de recuperação de informação para outros tipos de conteúdo, como conteúdos de áudio e vídeo. Recentemente, a TREC - Text REtrieval conference, uma das maiores conferências sobre recuperação de texto, incorporou o tema de busca sobre áudio como uma sub-tarefa.

3.2 Histórico de técnicas de estimação de frequência

O problema de estimar a frequência de trecho de áudio é um problema estudado há um longo tempo, diversas técnicas e métodos já foram desenvolvidos sobre o tema, porém até o presente momento estas técnicas ainda apresentam fortes deficiências e não são capazes de atingir o nível desejado de qualidade. Frente a um sinal único claro, diversas técnicas apresentam um bom desempenho, porém quando testadas com sinais ruidosos, ou contendo mais de uma linha melódica estas técnicas tendem a falhar. Diferentes conceitos podem ser aplicados na tentativa de estimar a frequência de um trecho de áudio, entre as principais técnicas tem-se: métodos que se baseiam no domínio do tempo, métodos que utilizam o domínio da frequência e métodos estatísticos.

Métodos baseados na análise do domínio do tempo se valem do fato que os sinais são periódicos, o que faz alguns eventos também serem periódicos, e, portanto, podem ser contados.

Taxa de cruzamento do eixo (ZCR - Zero-crossing rate). A idéia deste método consiste em contar o número de vezes que o sinal de áudio cruza o eixo dos tempos, imaginando-se que a principal componente de frequência responsável por este cruzamento será a frequência fundamental. A Figura 3.1 exemplifica o fato, onde uma componente de frequência mais alta não exerce grande influência sobre o número de cruzamentos do sinal com o eixo dos tempos.

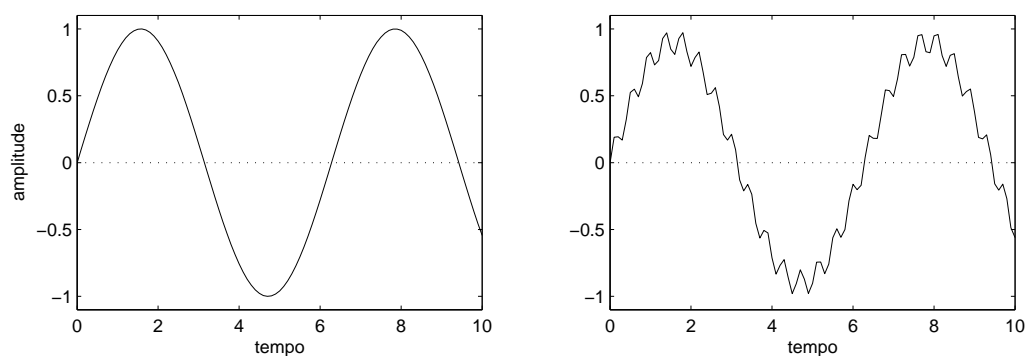


Figura 3.1: Influência da frequência fundamental na taxa de cruzamento do eixo

Taxa de picos. Este método consiste em contar o número de picos por segundo em um sinal, sabendo que através do número de picos é possível inferir a frequência do sinal, tem-se então a estimativa do frequência. Analogamente ao ZCR, a frequência fundamental será a componente de frequência que mais contribuirá para a ocorrência de picos no sinal, assim é possível dizer que a estimativa obtida corresponde à estimativa da frequência fundamental.

Taxa de eventos de inclinação. Devido ao fato do sinal ser periódico a inclinação do sinal também irá variar periodicamente, assim observar picos e zeros da inclinação do sinal pode ser mais informativo do que observar picos e zeros do sinal original.

Correlação. Existem ainda métodos que se baseiam na correlação entre duas amostras de áudio, definindo assim a similaridade entre os dois sinais. Formas de onda similares apresentariam uma correlação alta, enquanto formas de onda muito diferentes teriam uma baixa correlação.

Além de métodos baseados no domínio do tempo, existem também diversas técnicas baseadas no domínio da frequência. Estas, por sua vez, recaem sobre o fato de que o sinal pode ser

modelado como uma soma de séries harmônicas, guardando um alto grau de informação sobre a frequência fundamental.

Proporção de componentes de frequência Em 1979, Martin Piszczalski trabalhava em um sistema capaz de transcrever músicas automaticamente, assim, necessariamente um dos componentes deste sistema era o componente de extração de notas. O procedimento adotado se valia do cálculo do espectro do sinal, da detecção de picos deste espectro, e de uma análise probabilística destes picos.

Métodos baseados em filtros Estes métodos utilizam a idéia de aplicar diferentes filtros ao sinal, e analisar sua saída. Por exemplo, caso um sinal possua uma saída alta após a aplicação de um filtro passa-faixa, pode-se afirmar que este sinal possui entre suas componentes a frequência do filtro. Em 1977 James A. Moorer, propôs um algoritmo denominado Filtro Comb Ótimo, baseado nestes conceitos. Uma tentativa mais recente foi proposta por John E. Lane, denominado Filtro IIR Ajustável. Existem ainda diversas técnicas que se apóiam sobre a análise cepstrum, que corresponde ao resultado da transformada de Fourier do log do espectro de magnitude do sinal de entrada.

Diversos métodos estatísticos sobre o domínio da frequência também foram desenvolvidos, dentre estes deve-se destacar duas abordagens importantes: redes neurais e estimadores de Máxima Verossimilhança.

4 *Resenha Bibliográfica*

5 *Conceitos*

5.1 Processamento de sinais

5.2 Adaptatividade

6 Técnicas e procedimentos usados

7 Resultados

8 *Análise*

9 Crítica

10 Melhorias e Trabalhos futuros

11 Contribuições

Referências Bibliográficas

Mudança de estilo após este ponto com o comando
`\citeoption{abnt-show-options=list}` . Opção selecionada `abnt-show-options=list`.

```
@abnt-options{abnt-show-options=list,
key={aaaa},
abnt-show-options={list}}
```

Mudança de estilo após este ponto com o comando `\citeoption{abnt-substyle=none}` .

```
@abnt-options{abnt-substyle=none,
key={aaaa}}
```

Mudança de estilo após este ponto com o comando `\citeoption{abnt-substyle=COPPE}` .
 Opção selecionada `abnt-title-command=yes`.

```
@abnt-options{abnt-substyle=COPPE,
key={aaaa},
abnt-title-command={yes}}
```

Mudança de estilo após este ponto com o comando `\citeoption{abnt-substyle=UDESC}` .
 Opção selecionada `abnt-year-extra-label=yes`.

```
@abnt-options{abnt-substyle=UDESC,
key={aaaa}}
```

Mudança de estilo após este ponto com o comando `\citeoption{abnt-substyle=UFLA}`
 . Opção selecionada `abnt-and-type=&`. Opção selecionada `abnt-et al-cite=2`. Opção
 selecionada `abnt-et al-list=0`.

```
@abnt-options{abnt-substyle=UFLA,
key={aaaa}}
```

Mudança de estilo após este ponto com o comando
`\citeoption{abnt-thesis-year=final}` . Opção selecionada `abnt-thesis-year=final`.

```
@abnt-options{abnt-thesis-year=final,
key={aaaa},
abnt-thesis-year={final}}
```

Mudança de estilo após este ponto com o comando
`\citeoption{abnt-thesis-year=title}` . Opção selecionada `abnt-thesis-year=title`.

```
@abnt-options{abnt-thesis-year=title,
key={aaaa},
abnt-thesis-year={title}}
```

Mudança de estilo após este ponto com o comando `\citeoption{abnt-thesis-year=both}`. Opção selecionada `abnt-thesis-year=both`.

```
@abnt-options{abnt-thesis-year=both,  
key={aaaa},  
abnt-thesis-year={both}}
```

Mudança de estilo após este ponto com o comando `\citeoption{abnt-title-command=no}`. Opção selecionada `abnt-title-command=no`.

```
@abnt-options{abnt-title-command=no,  
key={aaaa},  
abnt-title-command={no}}
```

Mudança de estilo após este ponto com o comando `\citeoption{abnt-title-command=yes}`. Opção selecionada `abnt-title-command=yes`.

```
@abnt-options{abnt-title-command=yes,  
key={aaaa},  
abnt-title-command={yes}}
```

Mudança de estilo após este ponto com o comando `\citeoption{abnt-url-package=none}`. Opção selecionada `abnt-url-package=none`.

```
@abnt-options{abnt-url-package=none,  
key={aaaa},  
abnt-url-package={none}}
```

Mudança de estilo após este ponto com o comando `\citeoption{abnt-url-package=url}`. Opção selecionada `abnt-url-package=url`.

```
@abnt-options{abnt-url-package=url,  
key={aaaa},  
abnt-url-package={url}}
```

Mudança de estilo após este ponto com o comando `\citeoption{abnt-url-package=hyperref}`. Opção selecionada `abnt-url-package=hyperref`.

```
@abnt-options{abnt-url-package=hyperref,  
key={aaaa},  
abnt-url-package={hyperref}}
```

Mudança de estilo após este ponto com o comando `\citeoption{abnt-verbatim-entry=no}`. Opção selecionada `abnt-verbatim-entry=no`.

Mudança de estilo após este ponto com o comando `\citeoption{iso-690-1987}`. Opção selecionada `abnt-cite-style=(Author, YEAR)`. Opção selecionada `iso-abbreviation=standard`. Opção selecionada `iso-author-punctuation=void`.

AGILENT TECHNOLOGIES. 2000. *Agilent Technologies 8712ET and 8714ET RF Network Analyzers User's Guide*. USA, June 2000.

ANDERSON, J. C. 1964. *Dielectrics*. New York: Reinhold Publishing Corporation.

ANP. 2001. *Portaria Nº 309*. [S.l.], 27 de dezembro de 2001.

ASI INSTRUMENTS INC. 2002. *Dielectric Constant Reference Guide*.
<http://www.asiinstr.com/dc1.html>, 2002.

BAILEY, A. E. (Ed.). 1989. *Microwave Measurements*. 2nd.. ed. London, United Kingdom: Peter Peregrinus Ltd.

BAKER-JARVIS, James; JANEZIC, Michael D. 1996. Analysis of a two-port flanged coaxial holder for shielding effectiveness and dielectric measurements of thin films and thin materials. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, February 1996, vol. 38, no. 1, p. 67–70.

BAKER-JARVIS, James; JANEZIC, Michael D.; DOMICH, Paul D.; GEYER, Richard G. 1994. Analysis of an open-ended coaxial probe with lift-off for nondestructive testing. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, October 1994, vol. 43, no. 5, p. 711–718.

BAKER-JARVIS, James; JANEZIC, Michael D.; JONES, Chris A. 1998. Shielded open-circuited sample holder for dielectric measurements of solids and liquids. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, April 1998, vol. 47, no. 2, p. 338–344.

BAKER-JARVIS, James; VANZURA, Eric J.; KISSICK, William A. 1990. Improved technique for determining complex permittivity with the transmission/reflectin method. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, August 1990, vol. 38, no. 8, p. 1096–1103.

BAO, Jian-Zhong; SWICORD, Mays L.; DAVIS, Christopher C. 1996. Microwave dielectric characterization of binary mixtures of water, methanol, and ethanol. *J. Chem. Phys.*, 22 March 1996, vol. 104, no. 12, p. 4441–4450.

CALLISTER JR, William D. 1997. *Materials science and engineering: an introduction*. 4th.. ed. USA: John Wiley & Sons.

CHEW, Weng Cho; OLP, Kenneth J.; OTTO, Gregory P. 1991. Design and calibration of a large broadband dielectric measurement cell. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, January 1991, vol. 29, no. 1, p. 42–47.

COLE, Kenneth S.; COLE, Robert H. 1941. Dispersion and absorption in dielectrics. *Journal of Chemical Physics*, April 1941, vol. 9, p. 341–351.

COLE, R. H.; BERBERIAN, J. G.; MASHIMO, S.; CHRYSSIKOS, G.; BURNS, A. 1989. Time domain reflection methods for dielectric measurements to 10 ghz. *J. Appl. Phys.*, July 1989, vol. 66, no. 2, p. 793–802.

COLLIN, Robert E. 2001. *Foundations for Microwave Engineering*. Second. New York: IEEE Press.

FOLGERO, Kjetil. 1996. Bilinear calibration of coaxial transmission/reflection cells for permittivity measurement of low-loss liquids. *Meas. Sci. Technol.*, 1996, no. 7, p. 1260–1269.

_____. 1998a. Broad-band dielectric spectroscopy of low-permittivity fluids using one measurement cell. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, August 1998a, vol. 47, no. 4, p. 881–885.

- FOLGERO, Kjetil; FRIISO, T.; HILLAND, J.; TJOMSLAND, T. 1998b. A broad-band and high sensitivity dielectric spectroscopy measurement system for quality determination of low-permittivity fluids. *Meas. Sci. Technol.*, 1998b, no. 6, p. 995–1008.
- FRASSON, Miguel Vinícius Santini. 2002. *Classe ABNT: confecção de trabalhos acadêmicos em \LaTeX segundo as normas ABNT*. <http://abntex.codigolivres.org.br>, 2002. Versão 1.
- HAMILTON, Bruce. 1996. *FAQ: Automotive Gasoline*. [S.l.], 1996. Usenet Newsgroup: rec.autos.tech; Company URL: www.irl.cri.nz.
- HEWLETT-PACKARD COMPANY. 1998. *Network Analyzer Basics*. BALLO, D. Santa Rosa, California - USA, 1998.
- HIPPEL, Arthur von. 1954. *Dielectrics and Waves*. 2nd.. ed. Boston - London, 1954.
- JENKINS, S.; PREECE, A. W.; HODGETTS, T. E.; SYMM, G. T.; WARHAM, A. G. P.; CLARKE, R. N. 1990. Comparison of three numerical treatments for the open-ended coaxial line sensor. *Electronic Letters*, 15th February 1990, vol. 26, no. 4, p. 234–236.
- JESSEN, Klaus Steding. 2001. *\LaTeX demo: Exemplos com \LaTeX 2 ϵ* . jessen@acm.org, 2001. Versão: 1.13.
- MAHAN, Bruce H. 1972. *Química: um curso universitário*. 2^a. ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda.
- MARTINS, Dileta Silveira; ZILBERKNOP, Lúbia Scliar. 2001. *Português Instrumental*. 22^a. ed. Porto Alegre: Editora Sagra Luzzatto.
- MEYERS, Robert A. (Ed.). 1997. *Handbook of petroleum refining processes*. 2nd.. ed. USA: McGraw-Hill.
- MOULSON, A. J.; HERBERT, J. M. 1990. *Electroceramics: Materials - Properties - Applications*. London: Chapman & Hall.
- NELSON, Wilbur L. 1958. *Petroleum Refinery Engineering*. Tokyo: McGraw-Hill Kogakusha. (McGraw-Hill series in chemical engineering).
- OREAR, Jay. 1971. *Física*. 1^a. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.
- PETROBRÁS DISTRIBUIDORA S.A. 2002. *Portal Br*. <http://www.br.com.br>, 2002.
- PETROGATE TRADE CENTER S/C LTDA. 2002. *Petroportal*. <http://www.petroportal.com.br>, 2002.
- SANT'ANA, Hosiberto Batista de. 2001. Engenharia de refino de petróleo. Notas de aula da disciplina de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Materiais da Universidade Federal do Ceará: Engenharia de Refino de Petróleo. 2001.
- SCHMIDT, Walfredo. 1979. *Materiais Elétricos*. São Paulo - SP: Editora Edgard Blücher Ltda.
- SHELL (Ed.). 1983. *The Petroleum Handbook*. Sixth. Amsterdam: Elsevier. Compiled by staff of the Royal Dutch/Shell Group of Companies.

SMYTH, Charles Phelps. 1955. *Dilectric Behavior and Structure*. New York: McGraw-Hill Book Company Inc. (International Chemical Series).

SOLYMAR, L.; WALSH, D. 1998. *Electrical Properties of Materials*. Sixth. Oxford: Oxford Science Publications.

TJOMSLAND, Tore; HILLAND, Jannicke; CHRISTY, Alfred A.; SJÖBLOM, Johan; RIIS, Mona; FRIISO, Trond; FOLGERO, Kjetil. 1996. Comparison of infrared and impedance spectra of petroleum fractions. *Fuel*, 1996, vol. 75, no. 3, p. 322–332.

WARBRICK, Jon; CARSLILE, David; GOOSSENS, Michel; RAHTZ, Sebastian; CLARK, Adrian. 1994. *Essential L^AT_EX++*. [S.l.], 1994.