

## **4. Análise dos Sons das Clarinetas**

### **4.1 Introdução**

A análise computacional dos sons de clarineta em Lá e em Si bemol, via meios estritamente matemáticos e digitais, visa fornecer uma outra perspectiva de comparação entre os dois instrumentos, nos fornecendo uma nova dimensão da percepção.

Dessa forma, para fins desse trabalho comparativo, torna-se valoroso somar-se às conclusões dos experimentos anteriores, obtidas através da análise perceptiva de sujeitos selecionados, conclusões de um outro experimento: a análise acústica, matemática e computacional.

PAULA (2000) nos mostra as complexidades inevitáveis enfrentadas ao se proceder qualquer análise digital de timbres, uma vez que o timbre não é uma grandeza única, mas um somatório de vários fatores. Alguns destes fatores são: o ataque da nota, o perfil harmônico do som em questão, a evolução no tempo deste perfil e as relações entre seus harmônicos.

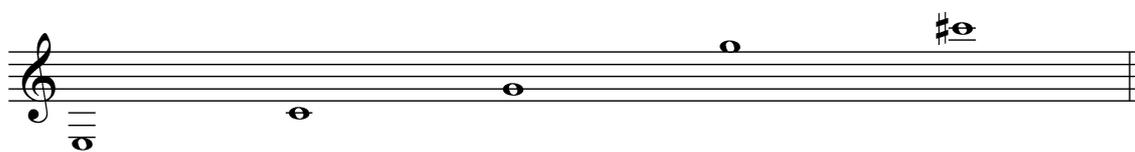
Este capítulo não se propõe a fazer uma análise digital profunda dos sons de clarineta em Lá e em Si bemol, nem obter dados numéricos precisos a respeito, mas sim fornecer uma análise gráfica simples dos perfis harmônicos de sons de ambos os instrumentos, mostrando suas similaridades e diferenças.

### **4.2 Aquisição dos Dados**

FUKS (1993) e PAULA (2000) demonstraram a grande variabilidade tímbrica existente no perfil sonoro da clarineta, principalmente quando da troca de registros. Na verdade, podemos dizer que especificamente cada nota ou, mais ainda, cada posição de digitação da clarineta, tem seu timbre particular, devido a haver ligeiras discrepâncias nas correspondências de seus parciais entre uma digitação e outra.

A análise computacional do som deve ser feita nota a nota (e não em frases completas, como nos experimentos anteriores) e, dessa maneira, seria impróprio para

este trabalho elegeu-se uma única nota como representativa de todo o perfil sonoro-tímbrico da clarineta (PAULA, 2000). Em contrapartida, a gravação e análise exaustiva de todas as notas cromáticas dos três registros de exemplares das duas clarinetas escapou, pelo volume e laboriosidade excessiva, aos objetivos deste experimento. Buscou-se, assim, selecionar-se para gravação e análise algumas notas, não próximas entre si, porém pertencentes aos três registros da clarineta (grave, médio e agudo), todas executadas segundo a mesma digitação nos dois instrumentos, a fim de serem todas submetidas a análise proposta. A *Figura 4-1* explicita as notas escolhidas.



*FIGURA 4-1: Notas escolhidas para serem executadas no experimento de análise sonora.*

Estas notas foram gravadas como notas longas de duração aproximada entre 5 e 6 segundos, na mesma ocasião da gravação realizada para o experimento anterior. Foi utilizado rigorosamente o mesmo material: mesmas clarinetas, mesmo microfone, mesma aparelhagem técnica (portanto já descrita anteriormente) e o resultado foi copiado para a mesma mídia (CD de áudio), após o que concluía-se a fase de estúdio.

As gravações foram copiadas para arquivos monofônicos diferentes e separadas de acordo com a nota e o instrumento a que cada uma correspondia, resultando em dez tomadas distintas. Para que estas tomadas pudessem ser comparadas entre si, era preciso que fossem normalizadas. No caso deste experimento, optou-se arbitrariamente por normalizar em 100% (0dB – zero decibel).

### **4.3 A Análise FFT e FFT Médio**

Este tópico pode melhor ser estudado na extensa literatura de processamento de sinais e matemática aplicada, de forma que aqui nos limitaremos a apresentar um breve

resumo. PAULA (2000) faz uma boa explanação do assunto aplicado à música, porém, para uma abordagem mais completa, recomenda-se SMITH (1997).

Um algoritmo eficiente para o cálculo da Transformada Discreta de Fourier (DFT) é o FFT (Fast Fourier Transform), sigla para a Transformada Rápida de Fourier, uma variação da FT (Transformada de Fourier). Dá-se o nome de transformada a um processo matemática capaz de assimilar como entrada uma função, um conjunto ou uma série, finita ou infinita, e algebrizá-la de forma a gerar como saída um outro conjunto de dados. O FT foi desenvolvido por Jean Baptiste Joseph Fourier (1768-1830), matemático e físico francês do século XIX, ao pesquisar a propagação do calor. Tentando entender o processo pelo qual se dá a dissipação do calor, Fourier elaborou uma série de ferramentas matemáticas capazes de interpretar e manipular dados modelados por senóides. Estas ferramentas, em especial ao tratar variáveis discretas, mostraram-se extremamente eficientes<sup>24</sup>, de maneira que, hoje, são usadas em diversas áreas do conhecimento.

No nosso caso, a análise digital de sons gravados, o que nos interessará compreender será a Transformada Discreta de Fourier (DFT), adequada para o tratamento de sinais de áudio periódicos e discretos. A análise DFT gera, a cada fragmento de tempo, uma distribuição de amplitude x frequência, resultando numa representação temporal em três dimensões (amplitude x frequência x tempo), a partir do qual podemos entender a evolução temporal das frequências e, portanto, o comportamento e participação de cada harmônico na configuração tímbrica do som.

O cálculo de DFT costuma ser longo e demorado.

O FFT, um algoritmo eficiente para o cálculo de DFT, proporcionou a viabilidade de inúmeros cálculos e técnicas de análises, não só no processamento de sinais sonoros como em diversas outras áreas. O primeiro a utilizar e o verdadeiro criador do FFT foi Karl Friedrich Gauss (1777-1855), porém Gauss não tinha à sua época o advento da informática, de forma que o cálculo tornou-se por demais repetitivo e exaustivo, sendo sua técnica por conseguinte abandonada e esquecida. Mais de um século depois, J. W. Cooley e J. W. Tukey, no artigo “An algorithm for the machine calculation of complex Fourier Series” (Mathematics Computation, Vol. 19, 1965, p. 297-301), ainda antes do surgimento da micro-informática, mirando-se nos incipientes recursos computacionais, recriam com grande sucesso o FFT.

---

<sup>24</sup> Na verdade, para tratar variáveis contínuas, as ferramentas de Fourier não eram tão boas, levando-o ao sofrimento de tê-las recusadas para publicação durante quinze anos.

O sinal original é sempre fragmentado em metades. Por isso, o FFT necessita de uma entrada de dados (sinal) de base binária. Seu algoritmo quebra entrelaçadamente o número de amostras em diversos grupos de pequenas amostras de mesmo tamanho. A quebra entrelaçada significa que cada par de bits do sinal original é separado em uma das metades diferentes deste sinal, seqüencialmente. Ou seja, o sinal tem seus bits numerados e é quebrado sempre em duas metades, sendo uma composta pelos bits pares deste sinal e a outra pelos ímpares. Estes novos sinais têm seus bits renumerados e é aplicado o mesmo processo de quebra, formado então quatro sinais. Procedendo esta quebra, chega-se ao ponto em que se tem muitos grupos muito pequenos, onde o cálculo da freqüência é rápido e fácil, construindo-se assim velozmente todo o banco de dados de freqüências. Desta forma, para se obter a curva geral com o panorama de freqüências e amplitudes no tempo, basta-se reordenar os resultados dos pequenos grupos. Como a quebra foi feita por um algoritmo conhecido (quebra binária entrelaçada), a recomposição do original se dará por simples reversão de bits<sup>25</sup>.

O cálculo FFT gera uma curva em 3 dimensões, freqüência, amplitude e tempo. No nosso estudo, o comportamento das freqüências no tempo, não será estudado com detalhes, e sim o das médias aritméticas das intensidades de cada freqüência no decorrer do tempo amostrado.

#### **4.4 Análise Gráfica**

As *Figuras 4-2 e 4-3* exibem os gráficos amplitude média x freqüência da nota  $Mi_2$  da clarineta em Lá e em Si bemol, respectivamente. Cada pico representa um harmônico. Observamos que, apesar do contorno complexo dos gráficos, eles possuem uma forma geral muito parecida, mantendo aproximadamente a mesma proporção entre os mesmos parciais e justificando, portanto, a grande semelhança percebida auditivamente entre os sons.

---

<sup>25</sup> Detalhes sobre estes algoritmos, vide SMITH (1997).

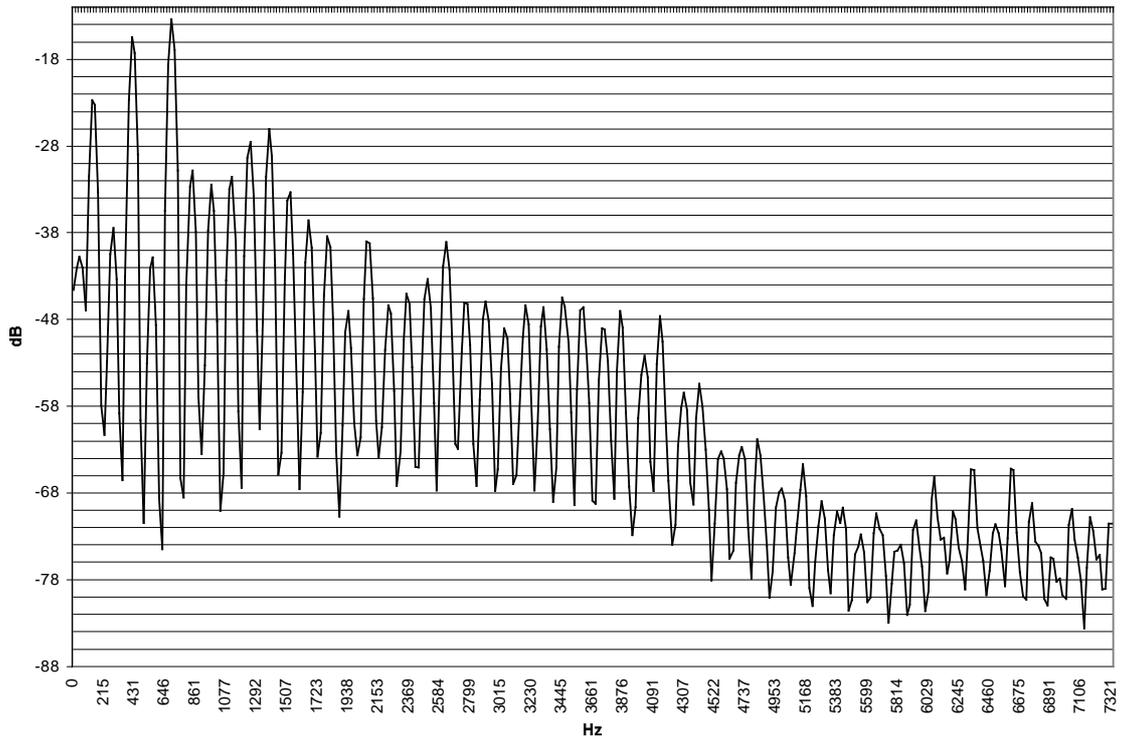
Mi<sub>2</sub> - Clarineta em Lá

Figura 4-2: Gráfico de amplitude média x frequência da nota Mi<sub>2</sub> da Clarineta em Lá.

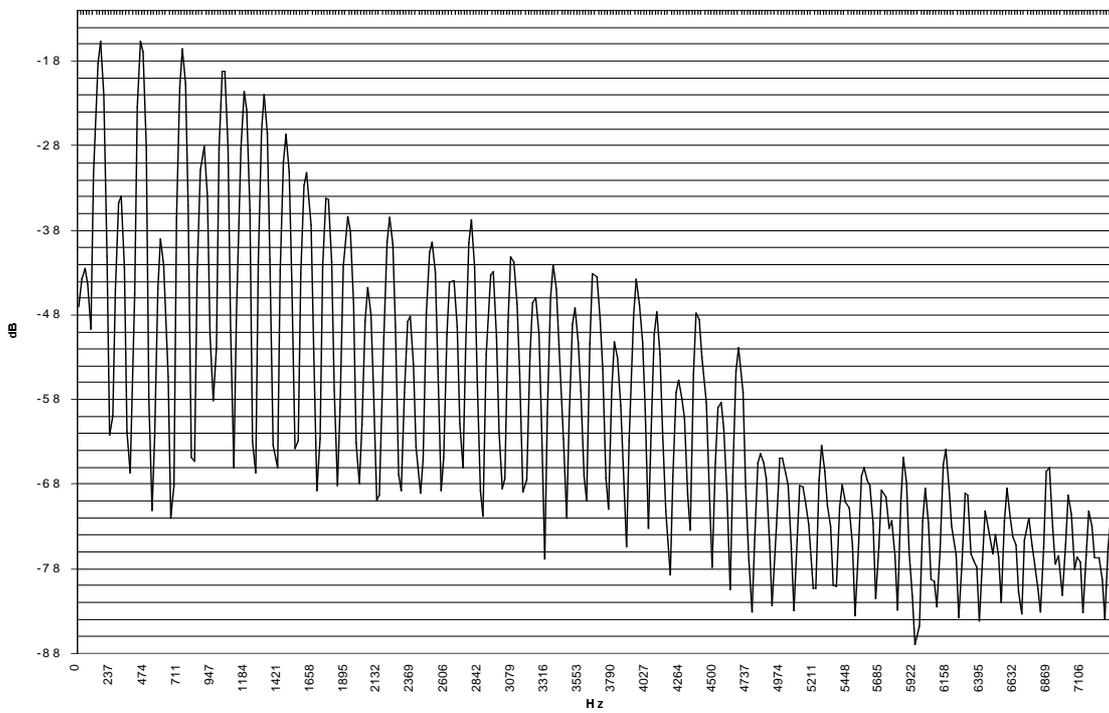
M<sub>12</sub> - Clarineta em Si bemol

Figura 4-3: Gráfico de amplitude média x frequência da nota M<sub>12</sub> da Clarineta em Si bemol.

As *Figuras 4-4 a 4-8* representam juntos os gráficos amplitude x frequência de ambos os instrumentos para as notas selecionadas. Estudando estas figuras, podemos evidenciar as seguintes conclusões:

- Conforme já demonstrado por PAULA (2000) e FUKS (1993), ao passo que se percorre o registro da clarineta em direção a notas mais agudas, verifica-se um empobrecimento do espectro harmônico. Observando os gráfico das figuras mencionadas, esta rarefação dos harmônicos torna-se visível, pela diminuição da quantidade de picos e pelo distanciamento homogêneo e crescente entre eles.

- Apenas nos últimos gráficos, notadamente os dois últimos e principalmente nas frequências mais altas (lado direito do gráfico), nota-se claramente a diferença de semitom, estando a linha da clarineta em Lá mais deslocada à esquerda.

- Muito embora, de um gráfico a outro, a forma com que se apresentam sofra várias pequenas modificações, ainda é possível traçar uma “forma geral” esperada para uma nota genérica, pois estas modificações não são tão acentuadas. Em todos os casos há um comportamento semelhante: primeiros harmônicos muito presentes, harmônicos médios menos presentes e um decaimento até os últimos harmônicos representados, com leve reforço de uma pequena região central.

- Em todas as notas selecionadas, os gráficos referentes à clarineta em Si bemol e em Lá são muito próximos um do outro, todavia não exatamente iguais. Em determinados momentos, a clarineta em Lá parece ter os harmônicos mais fortes, enquanto que, em outros, ocorre o contrário. Isto é interessante pois derruba o popular mito de que “a clarineta em Lá tem mais harmônicos que a em Si bemol” ou que “na clarineta em Lá, os harmônicos são mais fortes, mais presentes”.

Observe também que os espectros da mesma nota executada pelas duas clarinetas têm um grau de proximidade sempre maior que espectros de notas diferentes executadas pela mesma clarineta. Esta talvez seja uma forte razão para que a diferença entre os timbres dos dois instrumentos em questão não seja percebida: a diferença tímbrica entre espectros de notas de um mesmo instrumento supera a diferença entre os dois instrumentos em si. Certamente esta é uma observação interessante e novas pesquisas no futuro devem ser empreendidas no sentido de estudar mais minuciosamente estas diferenças espectrais e obter resultados quantitativos.

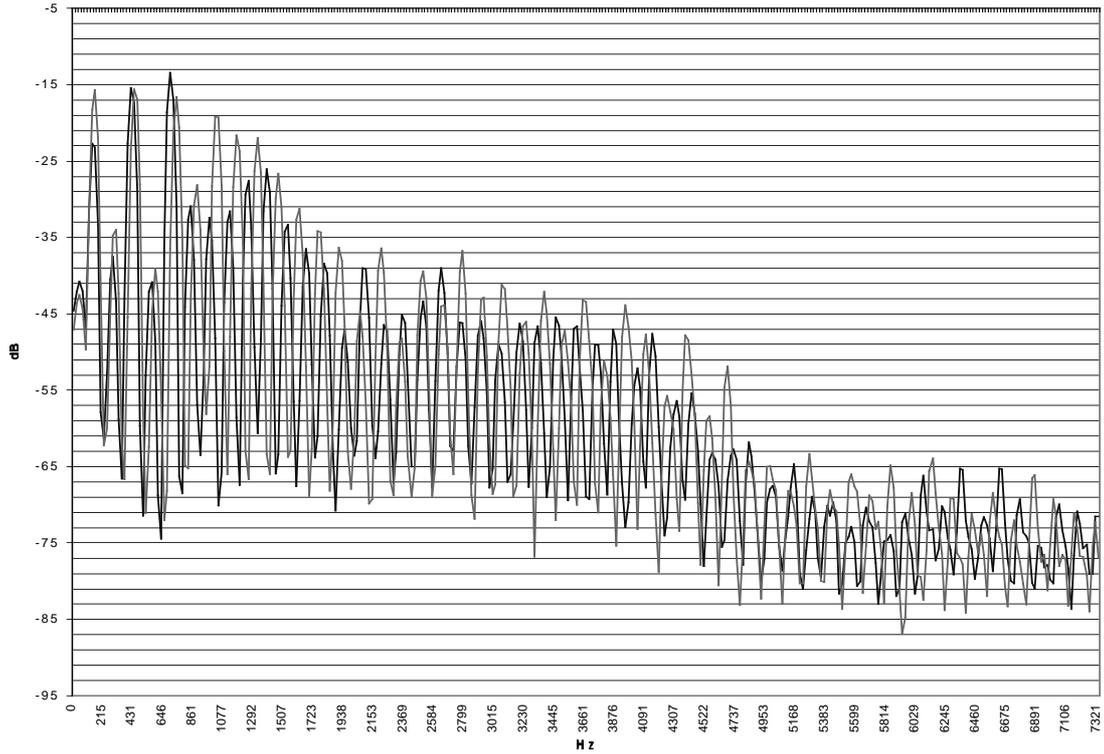
M<sub>12</sub> - Clarinetas em Lá e Si bemol

Figura 4-4: Gráfico de amplitude média x frequência gerado por FFT Médio da nota M<sub>12</sub> da Clarineta em Lá (azul) e em Si bemol (rosa).

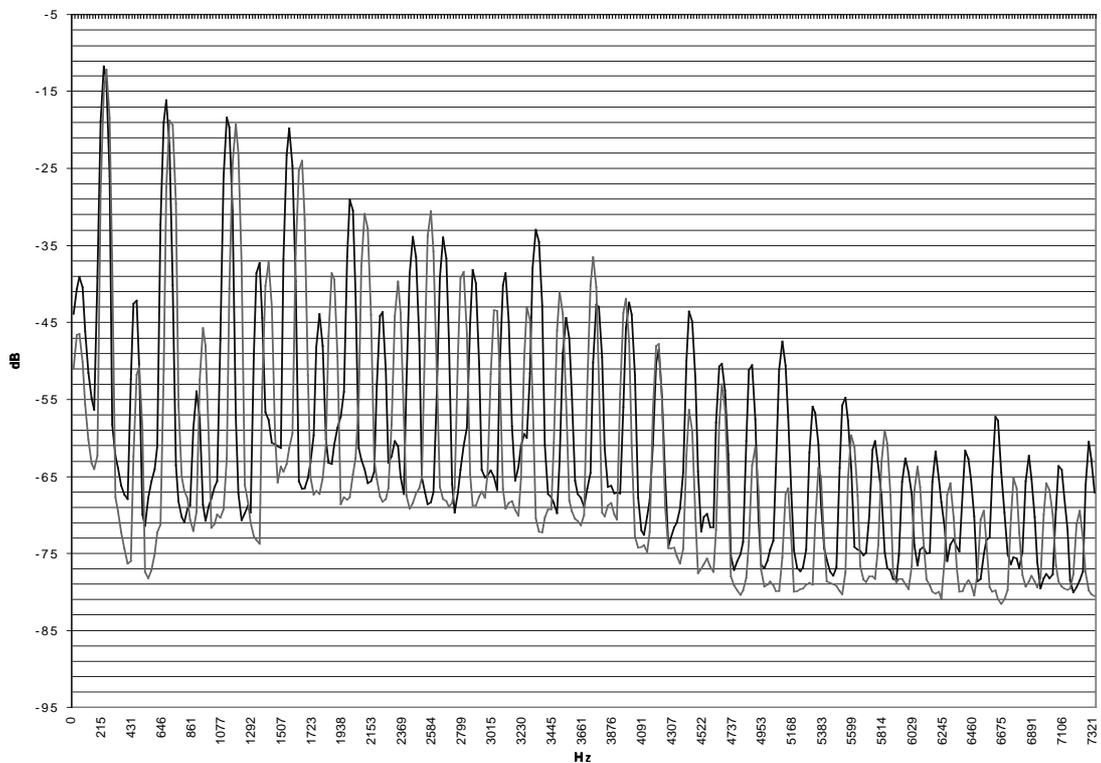
D<sub>63</sub> - Clarinetas em Lá e Si bemol

Figura 4-5: Gráfico de amplitude média x frequência gerado por FFT Médio da nota D<sub>63</sub> da Clarineta em Lá (azul) e em Si bemol (rosa).

## Sol3 - Clarinetas em Lá e Si bemol

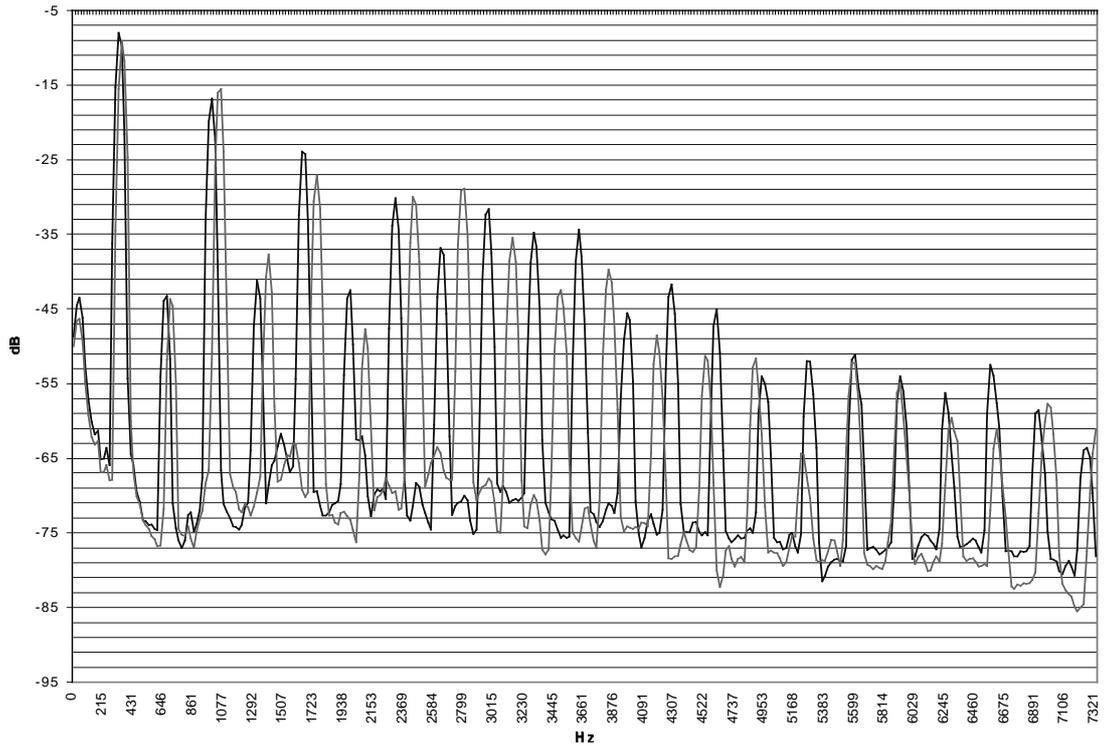


Figura 4-6: Gráfico de amplitude média x frequência gerado por FFT Médio da nota Sol<sub>3</sub> da Clarineta em Lá (azul) e em Si bemol (rosa).

## Sol4 - Clarinetas em Lá e Si bemol

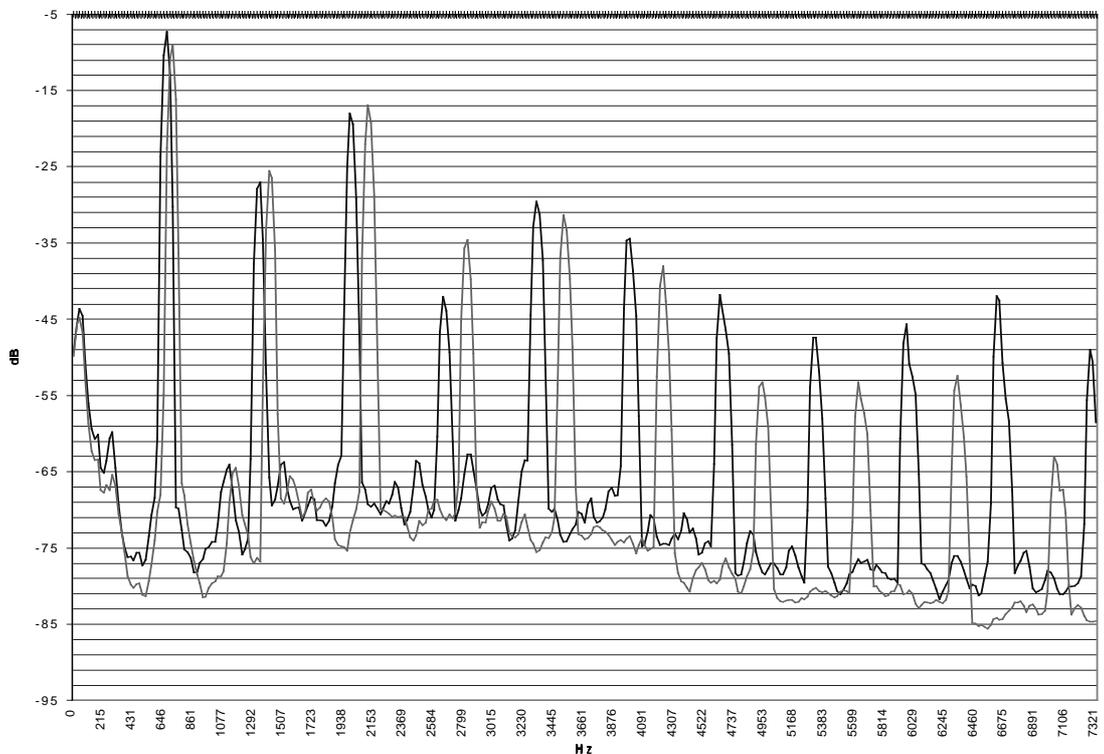


Figura 4-7: Gráfico de amplitude média x frequência gerado por FFT Médio da nota Sol<sub>4</sub> da Clarineta em Lá (azul) e em Si bemol (rosa).

## Dó#5 - Clarinetas em Lá e Si bemol

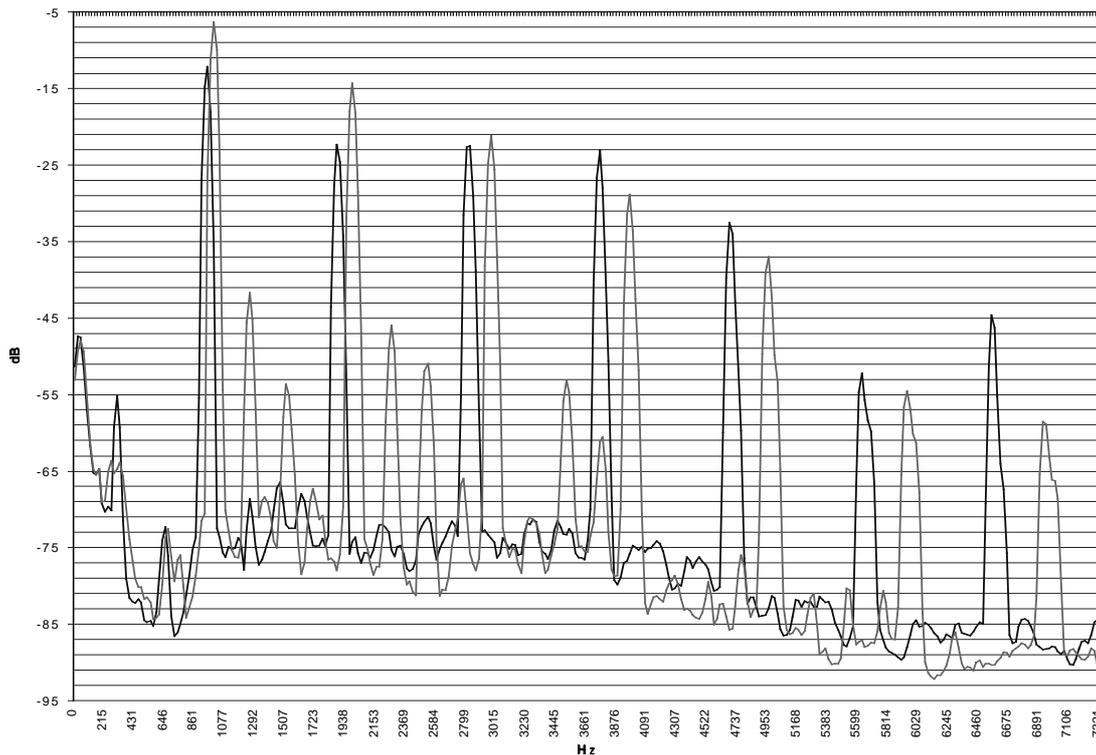


Figura 4-8: Gráfico de amplitude média x frequência gerado por FFT Médio da nota Dó#<sub>5</sub> da Clarineta em Lá (azul) e em Si bemol (rosa).

Apenas por esta comparação gráfica, podemos concluir que os sons (timbres) da clarineta em Lá e em Si bemol não são rigorosamente idênticos, mesmo comparando a mesma nota escrita executada na mesma configuração de tubo (digitação): observe que os picos dos primeiros harmônicos em todos os gráficos (Figuras 4-2 a 4-8) não têm exatamente a mesma intensidade, e que, na Figura 4-8, há uma diferença um pouco maior entre os parciais menos intensos. Contudo, pôde-se verificar nos gráficos extrema proximidade entre os espectros de cada instrumento, indicando grande semelhança entre os sons. À medida em que o intervalo entre as notas aumenta, seus gráficos de FFT Médio tendem a se distanciarem também, tanto num instrumento como em outro. Assim, os gráficos da mesma nota tocada pela clarineta em Lá e em Si bemol são mais parecidos entre si que os gráficos de notas diferentes tocadas pelo mesmo instrumento (esta diferença aumenta na medida em que o intervalo entre as duas notas comparadas aumenta).

O FFT Médio, contendo as amplitude médias de cada frequência, traduzem bom grau de confiabilidade em seus valores. Desse modo, a experiência da análise espectral,

em concomitância com os experimentos de percepção descrito nos capítulos anteriores, parece fortemente nos indicar que, embora os timbres das clarinetas em Lá e Si bemol não sejam puramente idênticos, seu alto grau de semelhança é suficiente para que a percepção musical humana, mesmo por indivíduos treinados, seja incapaz de diferenciá-los.

#### **4.5 Conclusões**

Indubitavelmente, a análise assistida por computador, de onde foram desprendidos diversos meios matemáticos e digitais no decurso de sua execução, provou que o perfil tímbrico de cada nota estudada é singular, inerente a ela e, portanto, diferente dos perfis tímbricos das outras notas pesquisadas, quer sejam notas do mesmo instrumento, localizadas próximas ou distantes em seu registro de alturas, quer sejam notas do instrumento congênere, mesmo em se tratando da mesma nota escrita (mesma digitação).

Provou-se, no entanto, grande semelhança entre os espectros harmônicos das notas pesquisadas, embora tenha sido possível se verificar, como já indicado por FUKS (1993) e PAULA (2000), que, à proporção em que se caminha no sentido do extremo agudo do registro da clarineta, em quaisquer dos dois congêneres, os sons produzidos tornam-se mais pobres em harmônicos, distanciando-os uns dos outros e diminuindo a quantidade de picos.

Esta dualidade semelhança/diferença presente nos sons de clarineta são perceptíveis mesmo numa atenta análise gráfica de seus parciais, gerada por FFT Médio. Apenas nesta análise já se torna possível entender a dificuldade, pela percepção humana, de reconhecimento destes padrões tímbricos.

Assim, podemos supor que a diferença tímbrica entre os dois instrumentos não é reconhecida, mesmo por músicos treinados, porque ela não supera a diferença tímbrica existente entre as notas de cada um dos próprios instrumentos em questão.

Sem dúvida, este experimento em geral e este indicativo em particular levantam dúvidas sobre o que é ou como podemos definir o som da clarineta em Si bemol e em Lá, ou onde realmente se encontra a diferença entre os sons das clarinetas em Lá e em Si bemol, caso realmente haja, dando assim ensejo para novas e múltiplas pesquisas neste campo ainda inesgotado.