

# Da Cifra Para o Braço: Estudo dos Problemas de Execução Musical em Violão e Guitarra

Giordano Cabral, Izabel Zanforlin, Rodrigo Lima,  
Hugo Santana, Geber Ramalho

Centro de Informática - Universidade Federal de Pernambuco  
Caixa Postal 7851 - CEP 50732-970 - Recife (PE) - Brasil  
{grec, iza, rqcl, hps, glr}@cin.ufpe.br

***Abstract.** Instrumental Performance Systems (IPS) help the user to learn how to play a musical instrument, by showing the performance of a song directly on a virtual instrument in the computer screen. Unfortunately, the current IPS exhibit various limitations. For instance, they are hardly editable, or not editable at all, they are not enough interactive and their interface is not fully adequate for string instruments. We are developing D'Accord Guitar, an editable and guitar specific IPS. This paper presents some proposed solutions to unexplored problems found in this development, mainly positioning and fingering. Such problems consist in automatically generating an actual guitar performance based on a sequence of chord ciphers. In order to solve these problems, D'Accord Guitar uses different AI techniques, such as heuristic search, knowledge based approach and constraint-satisfaction solving.*

## 1. Introdução

As notações musicais procuram encontrar o melhor compromisso entre riqueza e legibilidade. Quanto mais rica a notação, mais precisa ela pode ser, porém também menos legível. Visando um público crescente que demanda simplicidade, é comum haver uma separação dos diversos elementos musicais (Wet, Howel & Cross 1991). Desta forma, o músico pode concentrar-se no elemento em que experimenta maior dificuldade. Em música popular, é comum a utilização de músicas cifradas (Sher 1991), que se concentram no componente harmônico da música, supondo o conhecimento da melodia e do ritmo por parte do músico. Desta forma, o processo de escrita e leitura torna-se mais rápido.

Recursos multimídia, no entanto, podem ser usados para obter-se uma notação mais rica sem com isso perder muito em precisão (Roads 1996). Um esforço neste sentido são os chamados *Instrumental Performance Systems* (IPS), que mostram diretamente a música sendo tocada em um instrumento virtual, exibido na tela do computador. Os IPS atuais, entretanto, encontram limitações. As principais limitações são a falta de um ambiente apropriado para edição musical e a inadequação dos mesmos para quem baseia sua leitura musical em cifras de acordes, principalmente nos IPS específicos para violão/guitarra.

Em função destas limitações estamos desenvolvendo um IPS específico para violão/guitarra<sup>1</sup>, chamado D'Accord Guitar<sup>2</sup>. Nele, há uma separação clara entre os diversos elementos da música. Desta forma, é possível aprimorar o processo de aprendizagem do

---

<sup>1</sup> A partir deste ponto, a referência ao instrumento musical violão estende-se à guitarra.

<sup>2</sup> Uma visão geral sobre o D'Accord Guitar pode ser encontrado em D'Accord Guitar: an Innovative Guitar Performance System, submetido como Research Paper para o SBC&M 2001.

usuário, ao mesmo tempo em que se adequa aos músicos que utilizam cifras de acordes. O princípio básico do D'Accord Guitar é que a música executada no violão é o resultado da aplicação de um ritmo a um conjunto de acordes. O objetivo do software é *encontrar a melhor maneira de tocar um conjunto de cifras de acordes no violão*. Para isto, entretanto, vários problemas estão sendo encontrados, como a busca de todas as posições de acordes no violão e a modelagem computacional da mão do violonista. Estes problemas não possuem referências disponíveis na literatura científica, e são o foco deste artigo.



Figura 1- Janela principal do D'Accord Guitar

Na próxima seção serão expostos em maiores detalhes os problemas mencionados. A seção 4 descreve e discute as soluções implementadas no D'Accord Guitar. Na seção 5 são apresentados alguns resultados, a conclusão e os trabalhos que estão previstos para o futuro.

## 2. Modelagem de uma execução violonística

Para transcrever um conjunto de cifras de acordes em um conjunto de posições de acordes no violão, é necessário saber: quais são as *possíveis* posições de acordes, e quais dedos utilizar em cada posição. Neste artigo, o primeiro problema é denominado *posicionamento*, enquanto o segundo é denominado *fingering*<sup>3</sup>. Os dois são descritos em maiores detalhes a seguir.

### 2.1. Posicionamento

Mesmo em um instrumento de teclado, várias posições podem ser usadas para tocar cada acorde. Em outras palavras, são possíveis diferentes escolhas de vozes (*voicings*) para cada acorde (Fowler 1984). Algumas notas podem ser omitidas, algumas notas podem ser repetidas, e a ordem de apresentação das notas pode mudar (por exemplo, nas inversões). No violão, o problema é ainda maior, pois cada frequência pode ser gerada em diversas cordas, como visto na Figura 2. Há, inclusive, a possibilidade de se obter mais de uma posição de acorde com a mesma escolha de vozes, como visto na Figura 3.

<sup>3</sup> Ainda não há tradução satisfatória em português para este termo.

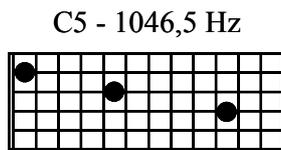


Figura 2 – Três posições consonantes

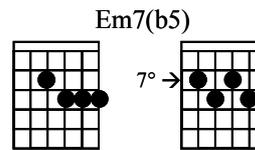


Figura 3 – Duas posições de acordes com a mesma escolha de vozes

O D'Accord Guitar permite a utilização de posições desde a corda solta até a 12<sup>a</sup> casa. Um oitava inteira é coberta, então, em cada corda. Isto equivale a dizer que cada em corda podem ser tocadas todas as notas de um acorde. Dado um acorde composto de  $n$  notas, existem no mínimo  $6n$  posições<sup>4</sup> isoladas, que podem ser combinadas de diversas formas para montar o acorde. A Figura 4 mostra as 30 posições disponíveis para se montar o acorde Fm7(11).

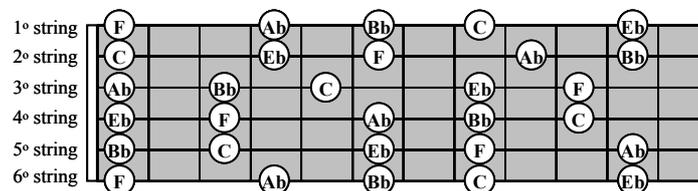


Figura 4 – Diferentes posições que podem ser utilizadas para montar um Fm7(11).

Dependendo do número de notas que compõem o acorde, pode haver mais de 100.000 combinações possíveis destas posições isoladas. A grande maioria delas, entretanto, não formam o acorde em questão. Além disso, dentre as combinações que efetivamente formam um acorde, uma grande parte não é exequível pelo músico. O problema de posicionamento consiste, portanto, em encontrar as combinações destas posições que formem o acorde em questão, levando em consideração restrições musicais, anatômicas e técnicas. Estas restrições são o maior desafio a enfrentar no problema de posicionamento.

Como um exemplo, pode ser tomado novamente o Fm7(11). Existem 30 posições isoladas a serem usadas. Assumindo que tal acorde pode ser construído utilizando-se 6, 5 ou 4 cordas, existem 43750 combinações possíveis. Destas, apenas 5880 efetivamente formam um Fm7(11). Destas, 283 são exequíveis pelo músico.

## 2.2. Fingering

O segundo problema consiste em definir quais dedos utilizar em cada corda. Em outras palavras, consiste em encontrar os possíveis *fingerings* para uma determinada posição de acorde. É importante salientar que o objetivo não é achar um único *fingering*, e sim todos os *fingerings* exequíveis pelo músico. Este problema é complexo, pois envolve a aquisição de um conhecimento do músico que não é explícito.

## 2.3. Escolha do melhor posicionamento/fingering para uma seqüência de cifras de acordes

O problema final do D'Accord Guitar refere-se a como avaliar as posições e *fingerings* gerados. Dada uma seqüência de cifras de acordes, o sistema precisa encontrar e balancear parâmetros para decidir que posições de acordes e respectivos *fingerings* utilizar para cada

<sup>4</sup> Neste artigo, a palavra *posição* denota a tupla <casa, corda>. A palavra *posição de acorde*, ou *posicionamento de acorde* denota um conjunto de posições, cada uma em uma corda diferente, que compõe um acorde.

acorde cifrado. Esta escolha varia de músico para músico e de estilo para estilo. Quanto ao posicionamento, um músico iniciante frequentemente prefere posições mais simples e confortáveis, enquanto um músico experiente frequentemente leva em consideração o encadeamento de acordes. Quanto ao *fingerings*, a principal variação encontra-se na utilização ou não de pestana em posições de acordes onde ela é facultativa.

### 3. D'Accord Guitar

As soluções sugeridas e implementadas no D'Accord Guitar para os problemas de posicionamento, *fingerings* e escolha da melhor seqüência são descritas a seguir.

#### 3.1. Posicionamento

O problema de posicionamento consiste em encontrar todas as posições possíveis para um acorde. Ele pode ser visto como um problema de satisfação de restrições (Tsang 1993), onde cada combinação encontrada deve obedecer a restrições configuráveis pelo usuário.

As restrições são divididas em 3 tipos: musicais, anatômicas e técnicas. As restrições musicais referem-se à escolha de vozes dos acordes. Elas são usadas para garantir que a combinação encontrada efetivamente forme o acorde desejado. O usuário pode especificar quais inversões permitir, quais notas podem ser omitidas e quantas repetições são permitidas para cada nota. Como padrão, o sistema permite que sejam omitidas de um acorde apenas a quinta, e a terça maior quando também houver uma quarta. Também como padrão, permite a duplicação de terça, a triplicação de tônica e quinta e não permite repetição das dissonâncias. A Figura 5 mostra algumas das posições encontradas para um Fm7(11) satisfazendo as restrições musicais padrão.

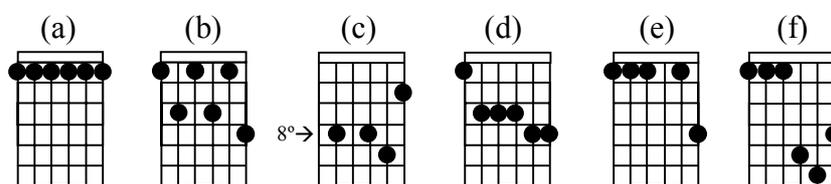


Figura 5 – Algumas posições encontradas para um Fm7(11).

Há também restrições sobre a execução da mão direita do músico<sup>5</sup>. Elas servem para restringir acordes onde o conjunto de cordas usadas não seja usual. Na verdade, são posições exequíveis, cujas notas efetivamente caracterizam o acorde, porém que vão de encontro à técnica violonística. Em função disto, são chamadas de restrições técnicas. Como padrão, é suposto que o violonista sempre posiciona os dedos indicador, médio e anular em cordas consecutivas. Desta forma, posições de acorde como a da Figura 5e (onde a 3ª corda não é tocada) são descartadas.

As restrições anatômicas são usadas para garantir que o acorde possa ser fisicamente tocado pelo músico. Neste caso, é levado em consideração o número de dedos da mão esquerda utilizados e a distância máxima entre eles. A distância máxima é configurável pelo usuário, e tem como valor padrão 4 casas. Desta forma, a posição de acorde mostrada na Figura 5f é descartada. Quanto ao número de dedos a utilizar, o valor é sempre igual a 4. Em função desta restrição, a posição de acorde mostrada na Figura 5d é descartada (já que necessita de 6 dedos para ser tocada).

<sup>5</sup> Neste artigo é assumido que o violonista é destro. Neste caso, a mão esquerda é usada para montar o acorde, pressionando as cordas, enquanto a mão direita toca o acorde, arpejando as cordas.

Entretanto, o número de cordas pressionadas pode ser maior que 4, através do uso da pestana. O problema, então, é saber quando uma pestana é aplicável, já que ela nem sempre pode ser utilizada. No D'Accord Guitar, há duas regras para a utilização da pestana. Em primeiro lugar, apenas o dedo indicador pode ser utilizado para pestana, portanto ela estará sempre localizada na casa mais à esquerda da posição do acorde. Em segundo lugar, a pestana inicia sempre na corda mais aguda (1ª corda) e se estende até uma das demais cordas.

A Figura 6 ilustra estas possibilidades, mostrando algumas posições de acordes onde mais de 4 cordas são pressionadas. Na primeira e na última posição (G e C/E) é possível o uso de pestana. Na primeira ela se estende da 1ª até a 6ª corda. Na segunda, até a 5ª corda. Na segunda posição (Gm6), a casa mais à esquerda é a casa 2, porém apenas uma corda é pressionada em tal casa. Por esta razão, a utilização da pestana não altera o número de dedos a utilizar. Na terceira posição (G6), não é possível utilizar pestana, pois ela precisaria iniciar da 2ª corda (e estender-se até a 6ª). Tanto a segunda quanto a terceira posições de acorde são, portanto, consideradas não exequíveis, por exigir a utilização de mais do que 4 dedos para ser construída.

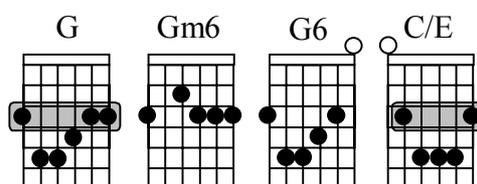


Figura 6 – Algumas posições de acordes onde mais de 4 cordas são pressionadas.  
(Círculos pretos indicam um dedo pressionando uma corda. Círculos brancos indicam uma corda tocada solta.  
Cordas sem círculos indicam cordas não disponíveis. Os retângulos em cinza indicam as possíveis pestanas)

### 3.2.Fingering

A modelagem da mão do músico já é necessária desde a etapa de posicionamento, mas torna-se fundamental na etapa de *fingering*. Para cada posição encontrada, é preciso saber que dedos podem ser posicionados em cada corda. A quantidade de combinações envolvidas neste caso é pequena comparada com o problema de posicionamento, pois todas as configurações possíveis para uma mesma posição de acorde envolvem apenas quatro dedos. No entanto, a tarefa de reconhecer quais dentre estas configurações de dedos são exequíveis pelo músico é mais difícil. Assim como o posicionamento, o *fingering* também é visto como um problema de satisfação de restrições, que são explicitadas através de regras lógicas.

Por exemplo, se há duas cordas pressionadas em diferentes casas, a corda que usa a casa mais próxima à pestana<sup>6</sup> do violão, usa o dedo de menor número<sup>7</sup>. Se existem duas cordas pressionadas em uma mesma casa, a corda mais grave usa o dedo de menor número. Na Figura 7, o dedo indicador é colocado na 2ª corda e o dedo médio é colocado na 4ª corda em função da primeira regra. O dedo anular é colocado na 5ª corda e o dedo mínimo é colocado na 3ª corda em função da segunda regra.

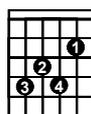


Figura 7 - Fingering para uma posição de Db7

<sup>6</sup> Neste caso, pestana refere-se à parte do violão situada na extremidade do braço do violão.

<sup>7</sup> O dedo 1 representa o indicador, o dedo 2 o médio, o dedo 3 o anular e o dedo 4 o mínimo.

Um fator complicador é a possibilidade de utilização de pestana, principalmente nos casos em que sua utilização é facultativa. Neste caso, é necessário reconhecer se é possível a sua utilização, como visto na seção 3.1. A Figura 8 mostra algumas das possibilidades de *fingering* para uma posição de Dm7, tanto com a utilização quanto sem a utilização de pestana.

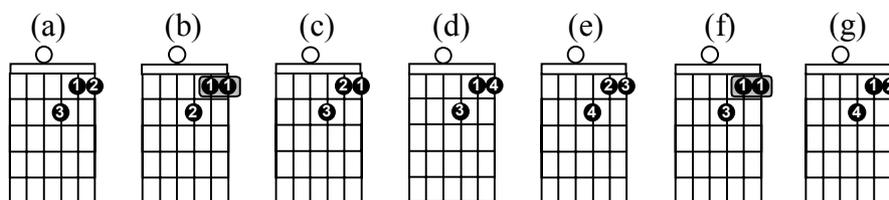


Figura 8– Possíveis fingerings de uma posição de Dm7.

Os *fingerings* da Figura 8a e Figura 8b são os utilizados mais comumente. O primeiro não utiliza pestana, enquanto o segundo utiliza. O *fingering* da Figura 8c, embora possa ser executado, não é comumente utilizado, pois vai de encontro à técnica violonística (o dedo indicador normalmente seria colocado na 2ª corda). O *fingering* da Figura 8d não é exequível. Os *fingerings* da Figura 8e, Figura 8f e Figura 8g são utilizados menos comumente, mas seu uso pode ser justificado, seja de acordo com os acordes posteriores ou anteriores, seja de acordo com o estilo do músico. Por exemplo, se o próximo acorde é Em7 na posição exibida na Figura 9, o *fingering* de Figura 8e é justificável.

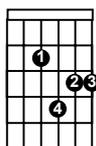


Figura 9 – Um possível fingering para uma posição de Em7

### 3.3. Escolha do melhor posicionamento e *fingering* de uma seqüência de acordes

Para a escolha do melhor posicionamento e *fingering* de uma seqüência de cifras de acordes, é utilizada uma busca heurística com função de avaliação de múltiplos atributos, onde o usuário pode atribuir um peso a cada atributo. O espaço de busca utilizado é o conjunto de posições possíveis para cada acorde, assim como os possíveis *fingerings* para cada uma delas. Abaixo são descritos os atributos utilizados do algoritmo.

O primeiro atributo disponível é o de *facilidade*. Ele indica o nível de esforço exigido para o músico executar a posição em questão, com o respectivo *fingering*. O segundo atributo é o de *freqüência de uso*. Ele indica o quanto a posição/*fingering* é comum (ou, pelo raciocínio inverso, rara). O terceiro atributo é o de *flexibilidade*, e indica quantos dedos ficam livres na posição/*fingering* em questão. O quarto atributo é o de *voicing*. Ele baseia-se na idéia de que acordes com omissões, ou com repetições indevidas, são mais “fracos”. Quanto mais “fraca” a posição do acorde, menor o valor deste atributo.

Os atributos citados acima são chamados livres de contexto, uma vez que não dependem dos outros acordes da música. Há, também, atributos que dependem das posições de acordes anteriores e/ou posteriores. Assim, é possível levar em consideração o encadeamento de acordes. Por exemplo, é possível escolher as posições de acordes onde a linha de baixo seja a mais suave possível (ou seja, uma seqüência de posições onde a nota mais grave varie menos). Da mesma forma, é possível escolher as posições de acordes cuja nota mais aguda varie menos.

## 4. Resultados e conclusão

Atualmente, os algoritmos para *posicionamento* e *fingerings* já estão implementados e testados. O resultado final é um software que gera automaticamente uma base de dados específica para violão. O algoritmo para *escolha das melhores posições de acordes* baseados em uma seqüência de cifras já está implementado, mas ainda está em fase de testes. Para facilitar a apreciação destes testes, o algoritmo por enquanto se baseia em apenas um atributo por vez.

A seguir é apresentado um teste simples efetuado no D'Accord Guitar. Dada a seqüência de cifras de acordes: Em / C7M / D7 / G, os resultados encontrados quando o atributo escolhido é a frequência de uso (Figura 10) são diferentes dos encontrados quando são escolhidos acordes com uma linha de baixo suave, mesmo que se usem posições pouco comuns (Figura 11).

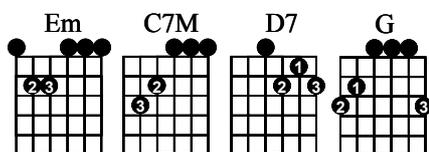


Figura 10 – Posições e fingerings mais comuns para a seqüência de acordes dada

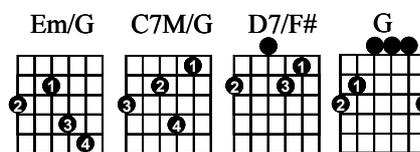


Figura 11 – Posições de acordes seguindo a melhor linha de baixo para a seqüência de acordes dada.

Os resultados não são conclusivos ainda, já que as melhores posições/*fingerings* são escolhidas baseadas em apenas um atributo por vez. Entretanto, os primeiros resultados são encorajadores, indicando que esta abordagem pode nos levar a uma solução completa e flexível para o problema apresentado.

Este artigo descreveu e apresentou as soluções implementadas para os principais problemas enfrentados durante o desenvolvimento do D'Accord Guitar, um instrumental performance system específico para violão/guitarra. A solução de tais problemas sugere uma maneira de gerar automaticamente as possíveis posições e *fingerings* de um acorde. Desta forma, é de grande valia tanto para o D'Accord Guitar quanto para outros softwares que necessitem de uma base de dados específica para violão.

Nosso principal trabalho futuro é finalizar a etapa de testes do algoritmo de *escolha do melhor posicionamento e fingerings para uma seqüência de cifras de acordes*, principalmente no que se refere à tal escolha utilizando múltiplos atributos simultaneamente.

## 5. References

- Fowler, W. (1984) *Chord Voicing Systems*. Fowler Music Enterprises.  
Roads, C. (1996) *The Computer Music Tutorial*. Massachusetts: MIT Press.  
Sher, C. (1991) *The New Real Book* (vol. 1 and 2). Berkeley: Sher Music.  
Tsang, E. (1993) *Foundations of Constraint Satisfaction*. Academic Press.  
West, R., Howell, P., & Cross, I. (1991). Musical Structure and Knowledge Representation. In P. Howell, R. West, & I. Cross (Eds.), *Representing Musical Structure* (pp. 1-30). London: Academic Press.