

Uma Abordagem visualização baseada em cores para compreender estruturas harmônicas de composições musicais

Del fi nd Malandrino, Donato Pirozzi, Gianluca Zaccagnino, Rocco Zaccagnino

Dipartimento di Informatica, Universit`a di Salerno, Via Paolo

Giovanni II, 132, 84084 Fisciano (SA), Itália

{dmalandrino, dpirozzi}@unisa.it, zaccagnino.gianluca@gmail.com , zaccagnino@dia.unisa.it

Abstrato

perícia música é a capacidade de compreender os elementos estruturais de composições de música, lendo partituras musicais ou mesmo por simplesmente ouvir performance musical. Embora a forma mais comum de aprender música é através do estudo de partituras musicais, esta abordagem é exigente em termos de capacidade de aprendizagem, dado o conhecimento implícito exigido de música notações teóricas e conceitos.

Neste trabalho de fi ne uma abordagem baseada em cor de dois níveis, que explora técnicas de visualização gráfica para representar estruturas de dados de música clássica, e realizar análise harmônica de composições musicais. Nosso principal objetivo é tornar mais fácil e muito rápido o estudo das notações clássicas (reconhecido como uma tarefa tediosa e culto di ffi no campo fi), fornecendo os indivíduos com um mecanismo que clari fi es relações complexas da música usando pistas visuais. Foi realizado um estudo preliminar para avaliar o e ff ectiveness da nossa abordagem, bem como a percepção dos participantes sobre a sua utilidade e prazer. Os resultados do estudo nos proporcionou um feedback positivo geral sobre a eficácia da nossa abordagem, bem como de mais sentidos para explorar.

em particular, um di ffi culto campo nesta área é o estudo de música clássica. pessoas não treinadas só pode ser capaz de sentir os elementos de som, tais como altura, ritmo, volume e velocidade. Por **outro lado, a forma da música ea harmônica, melódica, e rítmico aspectos** estruturais são geralmente conhecidos apenas por músicos que receberam treinamento extensivo em teoria musical e história da música. A curva de aprendizagem correspondente é íngreme e faz música clássica aparentemente sofisticado e de di ffi cult compreensão.

perícia música é a capacidade de compreender os elementos estruturais harmônicas, melódicas e rítmicas de composições de música, lendo partituras musicais ou mesmo por simplesmente ouvir performance musical. Aprender as regras musicais é difícil, e como antes mencionado, é verdade especialmente para música clássica, onde a rigidez das suas estruturas e estilos requerem maiores e ff sobras tanto em termos de sua inteligibilidade e aplicabilidade. A forma mais comum de aprender música é através do estudo de partituras musicais, que contém as notações objetivas de uma composição musical. No entanto, a análise de partituras é exigente e iniciantes tem que gastar uma quantidade considerável de tempo para aprender as noções básicas de teoria musical antes de ser capaz de compreender as notações musicais.

1. Introdução

Todos os dias nós apreciamos di tipos ff erent de música e sons. Muitas vezes, eles são bons, às vezes eles são irritantes. A música cria uma atmosfera extraordinária em que as pessoas podem sonhar e evocam memórias. A escuta cotidiana musical é algo especial e fortemente relacionada com o humor das pessoas. Nenhuma tarefa complexa ou uma habilidade especial é necessária. Os usuários podem sentir a natureza da música e que a música quer evocar, sem compreender a sua estrutura subjacente.

Uma situação muito erent di ffi surge quando ouvir música requer alguma consciência, quando os músicos têm de compor música, quando os alunos têm de aprender as regras musicais complexos. Aqui, algumas sobras e ff são necessários para compreender a estrutura de composições musicais. Em

Fazendo esta tarefa acessível a todos, mesmo para aqueles que não têm forte conhecimento de teoria musical, é o principal objetivo do nosso trabalho. Portanto, nós investigamos se as técnicas de Visualização de Informação poderia ser empregado para os nossos objetivos, através da exploração de alguma forma a nossa forte capacidade cognição visual (ou seja, a memória visual ou atenção visual). Um objetivo secundário é fornecer um mecanismo que, através da exploração de elementos gráficos, poderia ajudar as pessoas a compreender rapidamente regras teóricas complexas. Além disso, um tal mecanismo poderia ser usado por professores para transmitir conceitos teóricos de música de uma forma significativa e agradável.

Di ff tentativas erent foram feitas para visualizar a estrutura da música. Uma questão crítica neste campo é como criar a visualização informativa e esclarecedora a partir do qual os usuários, com um fundo de **música pobre, são capazes de Vejo o som e, ao mesmo tempo, são** capazes de compreender semanticamente estrutura subjacente da música. Os desafios mais importantes para resolver quando para visualizar estruturas musicais, mentira, tanto no pré-processamento dos dados de entrada (ou seja, elementos de música) eo desenho de uma representação razoável (significativa e intuitiva) gráfica para a música.

Neste trabalho de fi ne uma representação gráfica baseada em cor de dois níveis, que, sem envolver o pré-processamento de dados musicais, permite que os usuários a compreender a estrutura harmônica de composições musicais. Nós nos concentramos nossa atenção sobre o problema análise harmônica: dada uma composição musical, o objetivo é encontrar a estrutura harmônica, ou seja, o melhor sucessão harmônica de acordes. Nós discutimos as principais características da nossa abordagem, bem como sua ectiveness e ff através de um estudo de avaliação preliminar envolvendo participantes de ambos os músicos e iniciantes na música clássica fi eld.

O resto do artigo está organizado da seguinte forma. Na Seção 2 apresentamos obras interessantes no mesmo campo. Na Seção 3, de fi ne o problema análise harmônica, enquanto na Seção 4 discutiremos as características da abordagem proposta. Na Seção 5 são apresentados os resultados preliminares sobre o estudo do usuário foi realizado com pessoas interessadas em música (sem formação clássica) e músicos clássicos. Finalmente, na seção 6, concluímos com algumas observações fi nal e direções futuras.

2 Trabalhos relacionados

Di ff tentativas erent foram feitas para visualizar música. *diagramas de arco* representa um dos primeiros exemplos de visualizar repetições em composições de música utilizando visualização de informação [13, 14].

o *Isochords* Sistema de [1] é um método para visualizar a estrutura do acorde, progressão, e expressão das composições musicais representados em formato MIDI. Aproveitando-se de uma grade Tonnetz que enfatiza intervalos consonantes e acordes, Isochords mostra como a harmonia muda ao longo do tempo.

Outras abordagens usar vistas 3D para visualizar os componentes de música. Smith e Williams [12] discutiu a possibilidade de visualizar MIDI no **espaço 3-dimensional, usando a cor para marcar timbre. o comp-i sistema** [9] mostra a estrutura da música como um todo, usando a visualização de piano rolo 3dimensional. Seu principal objetivo é permitir que os usuários executem exploração visual de um determinado conjunto de dados MIDI de forma envolvente e intuitiva.

Outro sistema baseado em MIDI disponível na litera-

ture é Máquina da música Animação [7].

ele englobar passa um número de efeitos visuais, incluindo um rolo de notação de base 2-dimensional piano para visualizar a estrutura. Esta visualização é adicionalmente expandida com cores baseadas em classes passo usando o círculo de quintos. Cores baseadas num círculo de quintos para visualização de distribuições de tons e para a compreensão intervalos consonância e dissonância também têm sido exploradas [2, 8].

Finalmente, em [11], o autor visualiza hierarquia das regiões-chave de uma dada composição, em que o eixo x representa o tempo (desde o início até ao fim da composição) e do eixo y representa a duração de janela deslizante chave- do algoritmo nding fi. Quando o tamanho da janela aumenta mais notas estão incluídos e um pode Effect a tonalidade analisados. Estes diagramas de análise chave hierárquicos são úteis para comparar o impacto da utilização de di ff escalas de tempo erent e para a visualização da estrutura harmônica e as relações entre as regiões-chave na composição.

De ponto de vista musical, o fi cativa rência di ff mais signi com o nosso trabalho é que a maioria das obras discutidas concentrar em padrões melódicos e intervalos melódicos. Por outro lado, nós projetamos uma abordagem para lidar com as complexidades que surgem quando se estuda a estrutura harmônica de composições de música, ou seja, a compreensão e lembrando as regras estritas sobre modulações e sequências de graus (ou seja, cadências). Além disso, na nossa abordagem também ter em conta as relações entre os graus de uma tonalidade, e não apenas entre as modulações de tonalidades.

De ponto de visualização de vista, as representações gráficas que os trabalhos analisados propõem estão desligados pelas partituras musicais. Por outro lado, o nosso objectivo é incorporar a visualização **diretamente sobre a partitura musical, para transmitir aumentado informações,** ao estudar composições harmônicas. Embora as cores baseadas num círculo de quintos para visualização já foram propostos, nenhum dos trabalhos discutidos realizaram estudos formais para avaliar a Cacy e FFI da abordagem que eles fornecem. Em nosso trabalho, nós definida uma representação gráfica baseada cor de dois níveis (ou seja, a tonalidade graus) e avaliou a sua ectiveness e ff ea sua utilidade através de um estudo de avaliação preliminar realizado com os participantes com fundo musical.

3 O problema da análise harmónica

Neste trabalho consideramos o sistema de música temperado usado nos países ocidentais. **música temperado é baseado na noção de tonalidade.** A saber, uma tonalidade é um grupo de notas que formam uma escala. **Cada tonalidade pode ser tanto principal ou menor. Por exemplo, a grande** escala de C é C, D, E, F, G, A, B, enquanto que a maior

escala de D é D, E, F #, G, A, B, C #. doze tonalidades bem-temperado da música ocidental podem ser dispostos em círculo bem conhecida de quintos que as ordens de acordo com o número de alterações em suas assinaturas chave.

Normalmente, dada a composição de música, existe um *tonalidade principal*, e, portanto, as notas da escala correspondente são considerados mais importantes do que as notas fora da escala. Além disso, uma composição de música constituída por uma sequência de ações, enquanto que cada um deles é composto por um determinado número de batidas. Cada batida é associado a um musical *acorde*, que é um conjunto de notas. Acorde são identificados essencialmente pela sua posição na tonalidade ou, pelo grau escala servindo como raiz. Assim, cordas sucessão pode ser reduzida a sucessão raiz (ou progressão da raiz), que por sua vez pode ser traduzido em algarismos romanos, representando uma sucessão de graus escala. Portanto, as notas de uma escala são muitas vezes denotado também pelo I, II, III, IV, V, VI, VII, especialmente quando se quer enfatizar apenas o grau da escala e não a nota particular, que depende da tonalidade. Referimo-nos o leitor interessado a um livro-texto padrão em harmonia [10], para explicações mais detalhadas.

música ocidental é baseada em regras harmônicas e melódicas bem estabelecidos. Várias regras preocupar sequências de acordes. Algumas sequências são " *Melhor* "Do que outros, onde o termo melhor é difícil de definir, dada a sua avaliação subjetiva. De qualquer forma, na comunidade de música é amplamente aceito que sequências particulares de cordas funcionam melhor que outras. Especificamente, alguns acordes são " *mais importante* "Do que os outros, porque eles sugerem, preparar, executar ou dispositivo centros tonais. No geral, a arte da música tonal consiste precisamente na organização acordes de tal forma que sua interação é agradável e significativo.

o *progressão harmônica* de uma composição de música é uma sequência de acordes que representa uma das estruturas harmônicas da composição. Vale a pena notar que, para cada composição musical, é possível achar vários progressões harmônicas.

Nós nos concentramos nossa atenção na *harmônica problema de análise*: dada uma composição musical, o objetivo é os melhores progressões harmônicas de acordes fi nd. Obviamente, a análise harmônica pode ser feita em composições de qualquer *gênero musical*. Aqui, vamos nos concentrar no *corais* gênero [10]. Um coral é composto por 4 vozes independentes, chamados *baixo*, *tenor*, *alto* e *soprano*, conectados através de regras de música clássica. Os exemplos mais conhecidos de tal tipo de composições são os corais de JS Bach [3] (ver Fig. 1 para um exemplo da análise harmônica de um coral em D maior).

4 Nossa abordagem

Nesta seção, descrevem o mapeamento entre construções musicais (ie, tonalidade e grau) e as representações gráficas que escolhemos para a nossa abordagem visualização harmônica.

representação tonalidade. Observamos que uma composição musical começa com uma tonalidade principal, mas durante a sequência de acordes a peça pode ser submetida a uma modulação, isto é, ele pode alterar a sua tonalidade. No contexto fi c especificidade de corais, as regras harmônicas conduzir a modulação entre tonalidades que estão próximos no círculo de quintos. Portanto, a escolha para uma representação visual tem de garantir que tonalidades semelhantes têm representações semelhantes. A nossa ideia é mapear tonalidades semelhantes a cores semelhantes, através da atribuição de uma roda de cor para o círculo de quinto, como mostrado na Fig. 2.

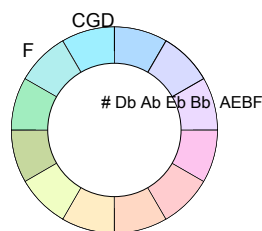


Figura 2: Círculo de quintos reforçada com um baseado em representação de cores: mapeamento de cores para tonalidades.

Dada a pontuação musical decidimos:

- atribuir a cada tonalidade de uma cor especi fi c, no nosso reforçada círculo de quintos (como um exemplo, a cor azul da luz para a tonalidade maior L).
- destacar a área de uma grande tonalidade com um rectângulo tendo linhas contínuas; dois rectângulos, tendo como fundo da cor a cor atribuída a tonalidade, são mostradas na parte superior e a parte inferior da banda sonora.
- destacar a área de uma tonalidade menor com um rectângulo com linhas tracejadas; dois rectângulos, tendo como fundo da cor a cor atribuída a tonalidade, são mostradas na parte superior e a parte inferior da banda sonora.

representação grau. Dada uma tonalidade, decidimos representam os sete graus com um retângulo. Vale a pena notar que cada grau pode ser classificado de acordo com sua função harmônica. Especificamente, o grau I tem *tônico* função, o V tem *dominante* função, e o IV possui *subdominant* função. Dado



Figura 1: Exemplo de análise harmônica realizada utilizando um método padrão, olhando para a banda sonora (Exemplo de um coral em D maior).

seu papel mais importante, decidimos para representá-los com as cores primárias (conjuntos de cores que podem ser combinados para fazer uma gama útil de cores), de acordo com o seguinte mapeamento: (1) I → vermelho, (2) IV → verde, (3) V → azul.

O grau II tem duas notas em comum com a IV e os graus V, por isso, decidi representá-lo com a cor secundária ciano, que é a cor obtida pela combinação da verde (IV) e azul (V) cores. O grau III tem duas notas em comum com os graus V I e, por isso, decidi representá-lo com a cor secundária magenta, que é a cor obtida pela combinação da vermelho (Eu) e azul.

(V) cores. O mesmo acontece para a VI e VII graus cujas cores, como mostrado na Fig. 3, são amarelo e azul, respectivamente.

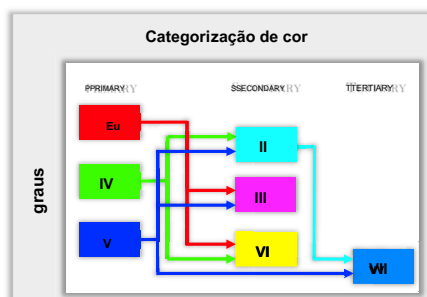


Figura 3: representação Grau: como atribuir cores de fundo em graus de acordo com o modelo RGB.

Como exemplo, vamos considerar os graus para a maior tonalidade C. Notas para o grau I são C, E, e G; as notas para o grau V são G, B e D. Repare que as notas para o grau III são E, L e B e por isso o grau III tem duas notas em comum com o grau I (E, G) e duas notas em comum com o grau V (G, B). Como resultado, decidimos atribuir como cor de fundo para o grau III a magenta

cor, que é a saída de cor da combinação das cores de fundo atribuídos ao grau I (vermelho) e o grau V (azul).

Além disso, dado um grau, o retângulo tem uma cor de fundo que corresponde à cor atribuída ao próprio grau, e ele deve ser o menor retângulo que inclui todas as notas na batida correspondente. Desta forma, cada retângulo também pode dar uma descrição melódica do grau. Um grande retângulo indica uma batida com muitas notas (vista horizontal), enquanto um alto indica uma batida com muito grandes intervalos verticais entre as vozes 4 (vertical vista).

Finalmente, é importante ressaltar que nós aplicamos uma ligeira transformação para cores (ou seja, aumento de transparência), a fim de evitar a cobrir integralmente a informação musical na pontuação.

Tonalidade e grau representações são a base da nossa abordagem de visualização baseada cor de dois níveis. Na Fig. 4 que mostra um exemplo da aplicação da nossa abordagem para o coral mostrado na Fig. 1.

5 Estudo de Avaliação

Nesta seção, primeiro descrever a metodologia que empregamos para o nosso estudo de avaliação preliminar, depois discutimos os resultados obtidos quando um grupo de pessoas estava envolvido em testar dois diferentes abordagens para a análise harmônica. O conjunto de dados utilizado foi tomada a partir de corais JS Bach.

5.1 Metodologia

O objetivo deste estudo foi explorar o effectiveness da nossa abordagem de visualização para compreender e realizar análise harmônica. Para este objectivo foi realizado um estudo piloto com doze participantes, para comparar a forma padrão (ou seja, "Abordagem Standard") para realizar a análise harmônica, basta olhar para as notas musicais contra um visual (ou seja, "Abordagem Colorbased"), explorando técnicas de visualização para executar a mesma tarefa.

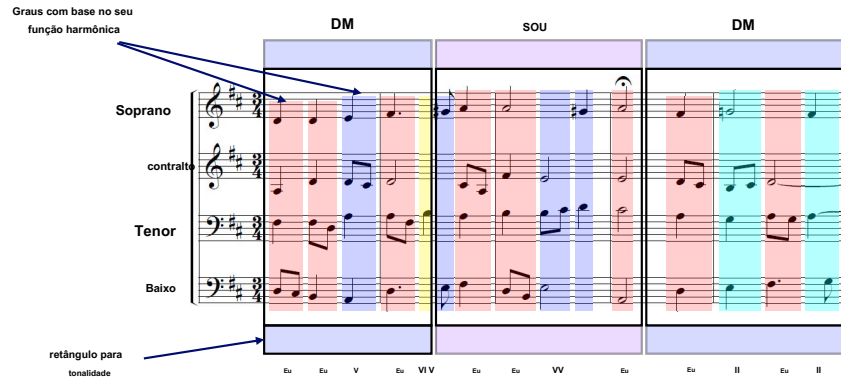


Figura 4: Implementação da nossa abordagem: visualização da análise harmônica mostrado na Fig. 1.

O estudo previu três fases diferentes em que realizados (a) Um levantamento preliminar, (b) uma fase de testes, (c) uma fase de treinamento, e (d) um resumo do inquérito, tal como definido em outros contextos [5, 6].

Na primeira fase foram coletadas informações sobre demografia e fundo musical. Em fase de testes pedimos aos usuários executar a análise harmônica de três corais diferentes, organizadas em tarefas de três diferentes. Tarefas foram apresentados em uma ordem aleatória. Os usuários foram fornecidos com partituras impressas. Para avaliar a qualidade da solução fornecida, calculamos a distância musical entre essa solução, e a melhor harmonização musical [4]. Sendo os corais escolhidos entre os corais JS Bach, seu melhor harmonização é bem conhecido no campo. Brievely, a distância entre dois acordes musicais é dada pela soma da distância entre as tonalidades das cordas e a distância entre os graus das cordas; a distância entre tonalidades é dada pela sua distância no círculo de quintos; a distância entre os graus é dada pela diferença entre os números de inversão das notas de baixo. No entanto, quanto menor a distância, melhor será a solução proposta. Um valor zero corresponde à solução ótima.

Em seguida, pedimos aos usuários executar uma fase de treinamento, olhando para vários corais aumentada com a nossa representação visual. Nenhuma informação foi dada aos participantes sobre o significado das cores, linhas e tamanho dos objetos. No final desta fase pedimos aos participantes que repetir a análise harmônica nas três corais analisados em fase de testes. Aqui, corais foram aumentados com nossa representação visual. Nós fornecemos três soluções diferentes para cada tarefa, incluindo o melhor harmonização também. Os participantes tiveram que selecionar o que eles pensavam que era a melhor harmonização, tentando explicar (como texto open-ended) as razões por trás de sua escolha. Finalmente, mais quatro perguntas eram

submetido para inspecionar se os participantes foram capazes de entender as regras por trás da nossa abordagem. O principal objetivo aqui foi avaliar a efetividade e eficiência da nossa abordagem visual para entender a análise harmônica.

Na quarta e última fase que pediu aos participantes para expressar a sua opinião sobre a utilidade da abordagem proposta. Nós também tivemos interesse em recolher percepções sobre a agradabilidade de nossas escolhas estéticas, bem como percepções sobre a utilidade de um instrumento que automaticamente poderia mostrar diferentes representações gráficas de um determinado coral. Surveys, tarefas e corais de treinamento estão disponíveis on-line ¹.

5.2 resultados

Os resultados da pesquisa preliminar revelou que a amostra total foi macho, a idade média era de 37, e 50% dos participantes tinham um grau Marquise. A maioria dos participantes (ou seja, 67%) gastaram mais de 2 horas por dia jogando música, 75% consideram-se como competente com a análise harmônica, enquanto os restantes se consideram especialista nesse campo.

Os resultados sobre a Fase de teste são mostrados na Fig. 5, em que relatam os valores médios de distância, calculados para todas as tarefas, através de todos os participantes. Como podemos ver, a nossa abordagem é capaz de desempenho melhorar para todas as tarefas analisadas. Além disso, a maioria dos participantes (83%) corretamente identificou as regras por trás da nossa abordagem, enquanto os restantes utilizadores não foram capazes de compreender apenas uma regra, que é o Visual diferença entre um menor e um grande tonalidade. Temos sugestões sobre como tornar mais clara esta diferença como comentários abertos.

Finalmente, como mostrado na Tabela 1, a maioria dos participantes concordou com a utilidade e com a agradabilidade da abordagem proposta. Mais importante,

¹ <http://www.di.unisa.it/~delmal/research/usability/IV2015>

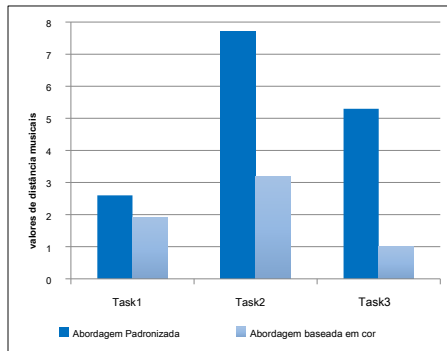


Figura 5: Comparação entre as abordagens testadas em termos de desempenho dos participantes em geral.

eles concordaram com a utilidade de um sistema de implementação da nossa abordagem.

Tabela 1: Pesquisa Resumo. 5 pontos pontuação Likert.

ID Pergunta		Significar	Dev.st
Q1	Eu achei uma idéia útil	4,4	0,5
Q2	Eu achei uma ideia interessante	4,1	0,3
Q3	Eu encontrei-o esteticamente agradável	4,2	0,6
Q4	Eu encontrei útil numa futura implementação utensílios de soft-	4,4	0,5

6. Conclusão

Neste artigo apresentamos uma abordagem para visualizar as estruturas harmônicas de composições musicais usando construtores gráficos. Especificamente, nós projetamos uma representação de baixo nível, a fim de tornar as regras reconhecíveis complexos musicais, como modulações e sequências de graus, bem como as relações entre graus e tonalidades. Nosso principal objetivo foi o de simplificar o problema análise harmônica, reconhecida como uma atividade complexa por especialistas neste campo, e melhorar o desempenho individual quando estudava música clássica. Foram avaliados, através de um estudo de usuário, se a abordagem proposta foi realmente útil na melhoria do desempenho dos participantes tanto com experiência em análise harmônica e mesmo sem formação clássica. Os resultados mostraram que quando aumentando partituras musicais com elementos gráficos indivíduos melhoraram o seu desempenho em todas as tarefas analisadas. Um resultado interessante é sobre as opiniões dos participantes sobre a utilidade de uma próxima implementação de software para a abordagem proposta. Também obtive comentários interessantes sobre as mudanças na representação gráfica para melhorar a visualização geral. Trabalhos futuros incluem um estudo, com especialistas de domínio, a fim de comparar várias representações gráficas (saída deste piloto

estudo) ea implementação da melhor representação software. Um grande estudo experimental, com um número maior de indivíduos, e com capacidades diversificadas, irá finalmente proporcionar estatisticamente significativos resultados.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer a todos os participantes que tomaram parte no estudo.

Referências

- [1] T. Bergstrom, K. Karahalios, e JC Hart. *acordes: Visualizando Estrutura em Música*. Em *Processo de interface gráfica*, páginas 297-304, 2007. [2] P. Ciuha, B. Klemenc, e F. Solina. *visualização de Tons simultâneos em Música com as cores*. Em *Anais da Conferência Internacional sobre Multimedia*, páginas 1677-1680, 2010. [3] C. Czarniecki. *JS Bach 413 Chorales: analisada. Um estudo da Harmonia de Bach*. 2013.
- [4] R. De Prisco, A. Eletto, A. Torre, e R. Zaccagnino. *Uma rede neural para baixo Harmonização funcional*. Em *Aplicações de Computação Evolucionária*, volume de 6025, páginas 351-360. 2010. [5] D. Malandrino, M. Ilaria, G. Palmieri, V. Scarano, e G. Filatrella. *Como ferramentas baseadas-Quiz pode melhorar o envolvimento e participação dos alunos em sala de aula*. Em *Conferência Internacional sobre Tecnologias e Sistemas de Colaboração*, páginas 379-386, 2014. [6] D. Malandrino, V. Scarano, e R. Spinelli. *como In-Consciência vincado pode impactar atitudes e comportamentos para a proteção de Privacidade Online*. Em *Int. Conf. em computação social*, páginas 57-62, 2013. [7] S. Malinowski. *A máquina animação música "música Vale a pena assistir"*. <http://www.musanim.com/>. Última visita: May, 11 2015.
- [8] A. Mardirossian e E. Chew. *Visualizando Música: Progressões e Distribuições tonal*. Em *Proceedings da 8ª Conferência Internacional de Informação da Música Retrieval*, páginas 189-194, 2007. [9] R. Miyazaki, I. Fujishiro, e R. Hiraga. *explorando conjuntos de dados MIDI*. Em *ACM SIGGRAPH 2003 Sketches & Amp; aplicações*, páginas 1-1, 2003. [10] W. Pistão. *Harmony: Fifth Edition*. WW Norton & Company, 1987. [11] CS Sapp. *análise chave hierárquico Visual*. *Comput. Entreter.*, 3 (4): 1-19, outubro de 2005. [12] S. Smith e G. Williams. *A visualização de música*. Em *Proceedings of IEEE Visualization*, páginas 499-503, Phoenix, Arizona, 19-24 outubro de 1997. [13] M. Wattenberg. *o forma do canção*. <http://www.turbulence.org/Works/song/>. Último Acesso: 11 de maio de 2015.
- [14] M. Wattenberg. *diagramas de arco: estrutura visualizando em cordas*. Em *Simpósio IEEE sobre Visualização de Informação, InfoVis 2002*, páginas 110-116, 2002.