

# Desenvolvimento de Instrumentos Musicais Digitais a partir de dispositivos ubíquos

Gabriel Lopes Rocha, Avner Maximiliano,  
João Pedro Moreira Ferreira, Flávio Luiz Schiavoni<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Computer Science Department  
Federal University of São João del-Rei  
São João del-Rei - MG - Brazil

{gbr.cdc, avnerpaulo.mg, joaopmoferreira}@gmail.com

fls@uufs.j.edu.br

**Abstract.** *This paper presents a study on the creation of digital musical instruments from ubiquitous devices. In this study, we applied the process for creating a digital musical instrument starting with the choice of a videogame control and a video camera as input devices. We present the outcome of his implementation, the design decisions taken during this development and also the considerations on how the creative process can influence and be influenced by technological decisions.*

**Resumo.** *Este artigo apresenta um estudo sobre a criação de instrumentos musicais digitais a partir de dispositivos ubíquos. Neste estudo, aplicamos o processo para criação de um instrumento musical digital partindo da escolha de um controle de videogame e uma câmera de vídeo como dispositivos de entrada. Apresentamos os resultados desta implementação, as decisões de projeto tomadas durante este desenvolvimento e também as considerações sobre como o processo criativo pode influenciar e ser influenciado pelas decisões tecnológicas.*

## 1. Introdução

A criação de um instrumento musical acústico pode partir da interação artesanal do *luthier* com o material a ser transformado em instrumento tendo como processo criativo a exploração do material pela tentativa e erro até que se chegue a algum resultado musical ou sonoro interessante. Nestes casos, a construção do instrumento musical acústico pode não partir de um som desejado mas no tipo de interação que se deseja com determinado material. Já no Instrumento Musical Digital (IMD), a construção pode iniciar pelo som que se deseja obter ou até mesmo de um som pré-existente e só posteriormente ser decidido como será a relação do músico com ele [Monteiro et al. 2012]. Também é possível partir de uma determinada relação, interface ou gesto, em como será a relação do músico com o instrumento para depois ser pensado em como o mesmo irá soar. Portanto, a construção de um IMD pode ser feita por uma demanda que desassocia o som do material a ser tocado sendo que seu uso específico pode determinar uma construção feita com base em uma necessidade de performance. Este espaço de performance dos IMD leva a entender que os mesmos são parte da criação da performance, “(...) uma espécie de obra aberta ou obra processo em si” [PATRÍCIO 2010].

Podemos então perceber que em instrumentos musicais acústicos, quase sempre a forma de controle (parte gestual) é inseparável da parte de síntese de som (parte mecânica) pois estes instrumentos são tocados na maior parte das vezes por um gesto atuando em seu material vibrante. O mesmo não acontece para instrumentos musicais eletrônicos, pois nestes a parte de interação (as entradas) são separadas da ferramenta de síntese de som. Isso abre espaço para a discussão sobre formas de mapeamentos que liguem esses dois pontos e permite pensar que os instrumentos musicais digitais podem possuir uma estrutura tripartite dividida em: a) a interface de entrada, b) a unidade de geração do som (sintetizador) e c) o mapeamento.

**Interface de entrada** A interface de entrada é a parte onde o músico se relaciona com o instrumento, é a parte que transpõe o gesto do músico em algo que possa ser tocado. Normalmente esta interface conta com sensores que funcionarão como dispositivos de entrada para o computador.

**Unidade de geração do som** A unidade de geração do som é um sintetizador digital que permite um *feedback* sonoro do gesto captado pela interface de entrada, e pode utilizar diferentes técnicas de síntese como AM, FM, aditiva, subtrativa, granular e tabela de sons.

**Mapeamento** Um sintetizador pode ter diversos parâmetros que definem as propriedades do som assim como um a interface física pode ter diversos sensores de entrada. O mapeamento é a parte que possibilita a interconexão entre a primeira e a segunda parte tentando dar um significado semântico sonoro ao gesto. [Hunt et al. 2000] destacam duas abordagens quanto ao papel do mapeamento, como característica específica da composição ou parte integral do instrumento, e duas quanto ao tipo do mapeamento, o uso de mecanismos geradores ou de estratégias de mapeamento explícitas.

Esta estrutura tripartite nos aponta que um IMD pode ter uma total desconexão entre o gesto do músico e o som gerado, de maneira totalmente distinta do que ocorre em instrumentos acústicos, onde um gesto faz o corpo do instrumento vibrar e influencia totalmente no resultado sonoro. No IMD o corpo do instrumento é a interface de entrada e a unidade que gera o som não interage com ele afim de gerar ou modificar o som [PATRÍCIO 2010]. Assim, podemos fazer uma corda vibrante atuar como um sensor e disparar um sintetizador que simula o som de um tambor gerando um resultado “esquisofônico” mas possível.

É importante ressaltar que, durante a história, os instrumentos evoluíram para gerar formas elaboradas de interação musical, nas quais a relação entre gestual e o som gerado são feitas de formas complexas e não lineares. Um piano, por exemplo, apesar de ser um instrumento acústico, não é tocado por um gesto que atua diretamente sobre seu corpo vibrante, no caso as cordas. Este instrumento já é tocado por meio de uma interface de entrada onde cada tecla pode ser mapeada para um determinado som e este som ser dependente de outros parâmetros de configuração do instrumento, como os pedais. Apesar de este ser o mapeamento óbvio e esperado, é possível alterar o piano de maneira a usar a mesma interface (as teclas) e o mesmo sintetizador (as cordas) mas obter outros resultados sonoros por meio de outros mapeamentos [Pritchett 1988]. Da mesma forma, podemos utilizar mapeamentos para a criação de instrumentos digitais de maneira direta, onde cada parâmetro de controle está atrelado a um parâmetro de síntese, ou de forma que parâmetros simultâneos alterem a geração de sons de que um instrumentista habilidoso

possa controlar parâmetros simultaneamente de forma expressiva [Hunt et al. 2000].

Partindo desta divisão tripartite de um instrumento musical, acreditamos que a criação de um IMD pode ser uma tarefa criativa que permite diversas possibilidades de exploração. Pensando nas possibilidades de entradas para a criação de IMD, este trabalho apresenta a utilização de dois tipos de entradas que podem ser comumente encontrados para este propósito: Controles de videogames e câmeras de vídeo. A utilização destas interfaces para a criação de instrumentos não é inédita e outras iniciativas podem ser encontradas na Seção 2.

Estes controles foram escolhidos por suas características ubíquas dados que os mesmos podem ser encontrados facilmente e a um baixo custo. Além disto, acreditamos que boa parte dos usuários de computador teriam familiaridade com ambos os controles mesmo que estes usuários não possuam familiaridade com a prática de instrumentos musicais. Estas interfaces serão melhor apresentadas na Seção 3 deste documento.

Certamente, tanto as câmeras de vídeo quanto os controles de videogame não trazem em si um mapeamento claro e óbvio quando utilizados como instrumentos musicais. A infinidade de combinações e gestos nos levam a diversas possibilidades de mapeamentos e as diferentes abordagens que estas interfaces nos possibilitam. A Seção 3.4 apresenta conceitos como formas de mapeamento, a importância de se evitar mapeamentos um para um, como um mapeamento bem pensado pode alterar a expressividade do instrumento e a impressão causado ao usuário [Hunt et al. 2003].

## 2. Trabalhos Relacionados

O instrumento desenvolvido por Matthew Blessing e Edgar Berdahl [Blessing and Berdahl] na Universidade do Estado de Louisiana utiliza um controle similar ao deste trabalho. Este trabalho utiliza como interface de entrada um Arduino Micro com cinco alavancas, onde a posição X e Y de cada alavanca determina as alterações de alcance e timbre do som. Como sintetizador, este trabalho usa um Raspberry Pi rodando um *patch* do PureData. Além disto, o instrumento foi montado em um invólucro com interface de entrada, sintetizador de som, mapeamento e caixa de som.

O instrumento desenvolvido por SookYoung Won, Humane Chan e Jeremy Liu [Won et al. 2004] do departamento de música da Universidade de Stanford foi constituído por tubos de PVC alinhados que contém resistores fotovoltaicos no fundo de cada tubo. Este projeto utiliza um microprocessador como unidade de processamento dos dados, que transforma o sinal enviado pelos resistores fotovoltaicos, quando acionados pela incidência de luz, em sinal MIDI. Porém considera os dados vindo dos resistores fotovoltaicos somente como as notas, variando da nota 60 até a 72 inicialmente e mantém a velocidade sempre em 64 como padrão para todas as notas. O projeto conta ainda com a possibilidade de variação de escala, o que eles chamam de “high” e “low”, sendo possível tocar notas de 48 a 60 e 72 a 84. Após o sinal ser transformado em sinal MIDI ele é enviado para o *patch* do PureData, que contém a síntese sonora e em seguida é gerado o som.

Já o trabalho de Michael Shawn Trail, et al. [Trail et al. 2012], propõe a construção de um hiper instrumento utilizando do Kinect da Microsoft para captar gestos realizados pelo músico ao tocar um instrumento de percussão. Com esses gestos são realizadas alterações no som emitido pelo o instrumento acústico, sendo adicionado novos sons ou

variando os sons já emitidos pelo o instrumento. O principal problema relacionado ao Kinect é que por se tratar de um *hardware* especializado seu custo pode não ser acessível a todos.

No trabalho realizado por Phon-Amnuaisuk, et al. [Phon-Amnuaisuk et al. 2009] é apresentada uma abordagem que faz uso da biblioteca OpenCV para a criação de instrumento digital. O instrumento criado simula um instrumento de percussão através de um ambiente virtual e do uso de “baquetas”, que são rastreadas e permitem a interação com o ambiente virtual. A partir da movimentação das baquetas é estimado o som que deverá ser sintetizado. Entretanto a abordagem apresentada pelos autores exige o uso das “baquetas” para que seja funcional, diminuindo assim a liberdade do usuário para interagir com o instrumento.

Nieto e Shasha apresentam em seu trabalho [Nieto and Shasha 2013] a utilização de dispositivos móveis para o reconhecimento de gestos e propõem como possível aplicação o uso desses dispositivos na sintetização de som. O trabalho demonstra a possibilidade do uso de dispositivos móveis na criação de instrumentos digitais, contudo consegue apenas analisar poucos gestos relacionados a mãos.

Há também trabalhos como os propostos em [Phon-Amnuaisuk et al. 2009], [Trail et al. 2012] e [Nieto and Shasha 2013] que utilizam de câmeras de vídeo, e a biblioteca OpenCV (*Open Source Computer Vision Library*), para a criação de instrumentos digitais ou hiper instrumentos e o trabalho de [Ariza 2012] que aproveita controles de videogame para criar interações musicais.

### **3. Dispositivos ubíquos para a construção de instrumentos musicais**

Muitos trabalhos que envolvem a criação de instrumentos musicais dependem da utilização de microcontroladores, como Arduinos e Raspberry pi, e diferente sensores. Barômetro, acelerômetro, sensores de torção, botões e demais tipos de entrada já foram explorados para construir instrumentos musicais. No entanto, a construção baseada nestes sensores depende de a) um conhecimento mínimo em eletrônica, b) um conhecimento de programação de microcontroladores e c) a disponibilidade destes sensores em um ambiente de pesquisa. Para evitar tal conhecimento especializado, este trabalho vai focar em dois dispositivos de entrada de fácil aquisição e comumente encontrados no mercado, são eles: Controles de videogame e Câmeras de vídeo. Desta maneira, podemos trabalhar no processo criativo da construção de um instrumento musical usando para isto apenas a programação.

#### **3.1. Controles de videogame**

Entre estes controles de videogame disponíveis atualmente no mercado, o modelo de manete popularizado pela Sony chamado DualAnalog (posteriormente Dualshock) com o console Playstation oferece uma série de atrativos. Muitas variantes da sua primeira versão foram lançados por diversas empresas. Neste trabalho, por exemplo, escolhemos para utilização o Controller Double Shock B-Max, que inclui uma conexão Universal Serial Bus (USB) para ser ligada a um Personal Computer (PC). Controles como esse podem facilmente ser encontrados a preços baratos, seja na internet, em lojas especializadas em jogos ou comércios populares. Além disso, é praticamente impossível conseguir essa quantidade de botões e alavancas analógicas disponíveis para mapeamento com um custo tão baixo caso a opção fosse construir tal circuito eletronicamente.

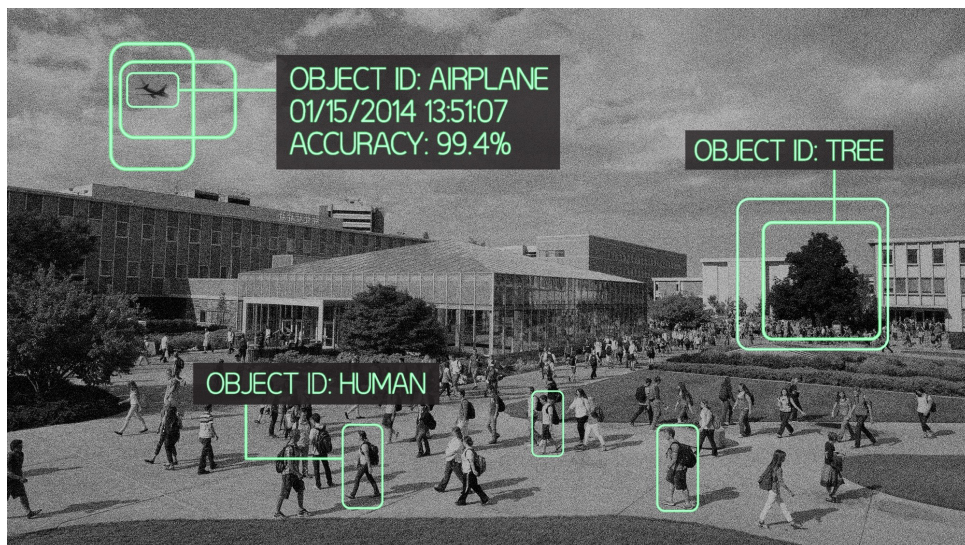


**Figura 1. Esquema de controles do Joystick utilizado neste trabalho**

Como pode ser visto na Figura 1, o controle possui 8 botões principais de valores discretos, duas alavancas analógicas em que cada uma oferece dois eixos de valores contínuos com o zero na posição central e quatro botões direcionais que oferecem dois eixos de valores discretos. Inclui ainda dois botões discretos, frequentemente denominados como “start” e “select”, e mais dois botões acessados ao se pressionar cada alavanca.

### 3.2. Câmeras de vídeo

Uma câmera pode reconhecer entre outras coisas objetos presentes em uma cena, cores predominantes, formas e até mesmo posição de pessoas. O algoritmos que possibilitam a extração de informação de uma imagem digital são relacionados a área de Visão computacional e processamento digital de imagens [Gonzalez and Woods 2000]. Dentre as possibilidades citadas acima, é possível observar na Figura 2 o reconhecimento de objeto em uma aplicação clássica de visão computacional.



**Figura 2. Exemplos de reconhecimento de objetos em uma cena**

Recentemente, câmeras especiais passaram a ser utilizadas como controles de videogame, como o Kinect da Microsoft, e permitir a interação de jogadores por esta interface de comunicação. Com técnicas de visão computacional é possível simular, através de câmeras comuns presentes em dispositivos populares, um comportamento similar ao Kinect da Microsoft [Ferreira et al. 2018] e permitir o controle de um console utilizando como interação a posição da mão. Como as câmeras de vídeo tradicionais são mais populares e ubíquas que as especiais para controle de videogame, este trabalho foca no uso destes dispositivos mais comuns.

### **3.3. Sintetizadores e o feedback sonoro**

Na escolha do sintetizador elencou-se duas opções: a) utilizar sintetizadores já existentes em computadores e um protocolo de comunicação de síntese, como o MIDI ou b) desenvolver um sintetizador próprio.

Optou-se nesse trabalho por utilizar o protocolo MIDI e sintetizadores já existentes para permitir a utilização de sintetizadores diferentes para o mesmo mapeamento e dispositivo tornando assim o processo de criação de um IMD mais solto e interessante. Um sintetizador MIDI possui um conjunto de entradas específicas e predefinidas e possui um protocolo de comunicação bem definido baseado em Notas e Dinâmica (velocidade). Apesar de acharmos suficiente para a nossa proposta inicial, entendemos que isto nos dá um conjunto escasso de parâmetros de síntese para trabalhar no mapeamento.

### **3.4. Mapeamentos**

Uma vez que iniciamos a construção de nossos instrumentos partindo da escolha da interface e decidimos utilizar sintetizadores MIDI, é necessário pensar as formas de mapeamento. [Ariza 2012] discute a utilização do controle dual analógico como interface para interações musicais, além de sugerir diversos padrões de mapeamento. [Hunt et al. 2000] discute estratégias de mapeamento de forma mais geral, analisa a literatura disponível sobre o tema e apresenta o conceito de se dividir a forma de mapeamento em subcamadas.

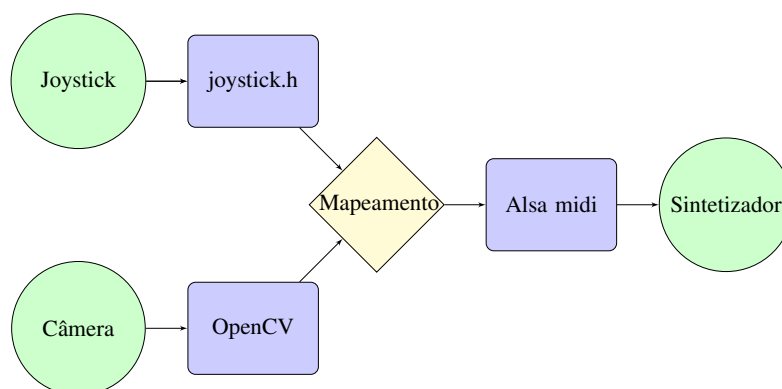
Ao discutir mapeamentos para os dispositivos de entrada aqui propostos, queremos chegar a uma forma que permita tornar o ato de tocar nossos IMDs estimulante e recompensador. A interação musical deve incentivar a exploração e estimular a criatividade. É bem mais difícil pensar em mapeamentos para interfaces que estão muito distantes das utilizadas até então para criar música pois não estamos nos baseando em um instrumento já existente. Então, iremos propor o teste de mapeamentos distintos partindo dos conceitos de complexidade, facilidade de aprendizado e explorabilidade.

## **4. Implementação**

A implementação dos instrumentos aqui propostos partiram de uma construção unindo bibliotecas já existentes para a captura de entrada e a utilização do protocolo MIDI para a interface com sintetizadores genéricos já existentes.

Utilizamos MIDI para a comunicação entre o IMD e um sintetizador compatível com o protocolo devido a simplicidade na compreensão básica e aplicação do protocolo. Além disso, o padrão torna fácil a criação e variação entre diversas formas de mapeamento. Os códigos foram escritos utilizando a biblioteca ALSA MIDI para o Linux. Ela oferece uma estrutura de representação de mensagens MIDI junto com uma série de

funções para a criação, recebimento e manipulação destas. A estrutura básica dos instrumentos produzidos por este trabalho pode ser observada na Figura 3, sendo que a interface de entrada pode ser um joystick ou a câmera dependendo de qual instrumento está sendo utilizado. Além disso foram criados diversos mapeamentos para esse trabalho sobre as interfaces de entrada.



**Figura 3. Estrutura da construção dos instrumentos**

É muito comum nessa parte que se faça uma associação um-para-um entre os parâmetros de síntese e as entradas disponíveis no dispositivo de controle. Esse comportamento é entretanto desaconselhado pois, em geral, resulta em uma forma de interação com o instrumento pouco expressiva [Hunt et al. 2003]. Em instrumentos acústicos, na maioria das vezes as formas de controle estão associadas de maneira cruzada a diversos detalhes do som gerado e é isso que torna a experiência de tocá-los interessante. Então, mais do que quais ações gestuais desejamos transformar em som e de que forma, também devemos pensar em como estas interagem para enriquecer a performance. São essas escolhas no processo de criação do IMD que dão “vida” ao instrumento e o individualizam. Formas de mapeamento mais complexas e inovadoras também trazem mais possibilidade nas formas de interação. Elas exigem mais habilidade e treinamento, mas os resultados são melhores principalmente para executar tarefas mais complexas [Hunt et al. 2003].

#### **4.1. O controle de videogame como entrada**

A biblioteca joystick.h disponível para Linux permite a interação do programa com o controlador. Ela possui uma estrutura que encapsula as informações enviadas pelos botões, ou quando algumas das alavancas analógicas são movidas. Dessa forma, o valor de um botão pode ser discreto, significando apenas se ele foi pressionado ou solto, ou contínuo, indicando o quanto a alavanca foi deslocada. Lembrando que os botões direcionais, apesar de discretos, controlam dois eixos, um horizontal e um vertical, assim como as duas alavancas. É possível ainda captar o tempo em que cada um desses eventos ocorre.

Sobre o controle vale ressaltar que ele possui dois modos. Quando o modo analógico está desativado, os eixos contínuos atribuídos às alavancas não são utilizados. Ao invés disso, a alavanca esquerda controla o eixo discreto dos botões direcionais e a alavanca direita pode ser usada para acionar os botões do lado direito da manete (popularmente conhecidos como “triângulo”, “xis”, “quadrado” e “bolinha”). Essa configuração é interessante pois permite duas formas de se executar o mesmo comando, mas limita a quantidade de comandos disponíveis.

Para facilitar a descrição dos mapeamentos, os botões frontais se referem aos quatro citados acima, os botões superiores referem-se aos normalmente conhecidos como “L1”, “L2”, “R1” e “R2”. Restam os botões direcionais do lado esquerdo da manete e as duas alavancas.

Três estruturas de mapeamento foram pensadas para esse dispositivo de entrada. A primeira segue a visão intuitiva mas pouco aconselhada de se atribuir cada botão principal disponível a uma nota dentro da partitura entendida pelo sintetizador. Desta forma, os quatro botões direcionais e os botões frontais foram atribuídos cada um a uma nota dentro de uma oitava. O botão “select” é usado para selecionar se a oitava utilizada é uma maior ou menor. Entre os botões superiores, os de cima são usados para adicionar ou subtrair um semitom do valor da nota e os de baixo acrescentam ou subtraem uma oitava. Uma possibilidade interessante desse mapeamento é utilizar o modo analógico desligado para que seja possível tocar as notas através das alavancas. Apesar de ser um desperdício usar uma entrada contínua para disparar valores discretos, os resultados adquiridos dessa forma são bem interessantes. Em todo caso, esse mapeamento foi pensado para ser de fácil compreensão, bastante intuitivo, porem pouco explorável.

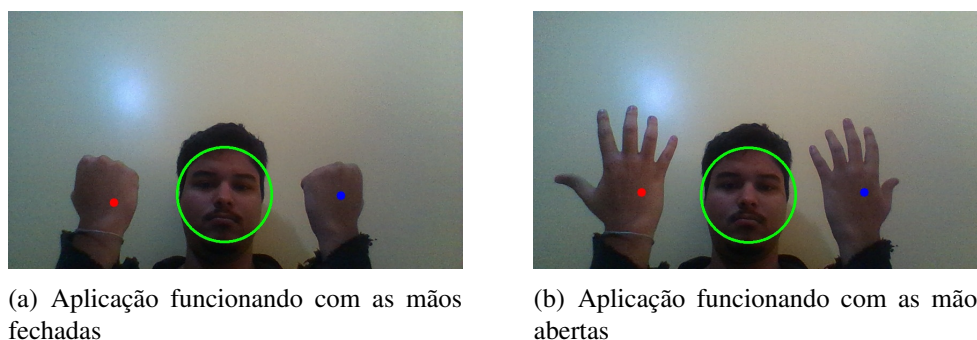
O segundo mapeamento abstrai a ideia de uma máquina de estados. A posição atual dessa máquina muda a configuração do mapeamento atribuído aos botões frontais. Este é determinado pelos botões direcionais pressionados. Assim, tocar esse instrumento significa entender como estes estados funcionam e saber navegar entre eles para alcançar o som desejado. Os botões superiores permitem navegar pelas oitavas ou semitons para aumentar a amplitude de notas alcançadas. As alavancas analógicas aqui podem ser usadas da mesma forma descrita acima, ou ser atribuídas a controles contínuos MIDI. Pelo menos 8-bits são usados para representar um eixo [Ariza 2012]. Isso permite que até dois controles possam ser manipulados por eixo, com a posição neutra 0 localizada no meio. Esses controles podem ser atribuídos a parâmetros específicos de cada sintetizador para obter resultados diversos. Assim pode-se ter acesso a características do som não codificadas por uma mensagem MIDI.

O terceiro mapeamento foi pensado para ter uma lógica de difícil compreensão para o usuário. Os botões da manete enviam sinais que manipulam os bits que montam a mensagem MIDI a ser enviada para o sintetizador. Dos 14 botões disponíveis, os 7 botões esquerdos foram mapeados para os bits de velocidade, enquanto os 7 botões direitos foram mapeados para os bits de nota. Além disso, cada vez que o botão correspondente à posição de um bit é pressionado, além de alterar o seu valor, aquela posição passa a ser a primeira. Esse mapeamento obteve resultados inesperados e ainda está em desenvolvimento. O seu princípio é mostrar que uma forma de mapeamento muito complexa, apesar de apresentar muitas possibilidades, pode ser frustrante de mais para despertar o interesse do usuário.

## **4.2. Câmeras de vídeo**

Para a implementação do sistema responsável pela interface de entrada utilizando câmeras de vídeo foi utilizada a biblioteca OpenCV. OpenCV é uma biblioteca de código aberto com diversos algoritmos de visão computacional e processamento digital imagens já implementados. Essa biblioteca oferece uma grande vantagem para aplicações que desejam funcionar em tempo real além de ter um grande número de colaboradores e ter sido adotada por grande parte comunidade de pesquisadores sobre o tema [Bradski and Kaehler 2008].





**Figura 4. Interface de entrada com *feedback* visual do reconhecimento realizado**

A partir desta biblioteca foi desenvolvido para servir de interface de entrada para o IMD um sistema que reconhece uma pessoa e seus membros, como pode ser observado na Figura 4. O sistema é capaz de identificar uma pessoa presente na imagem capturada pela câmera, definir seu rosto e estimar a posição no eixo  $x$  e  $y$  de sua mão esquerda e direita.

Definido qual algoritmo de visão computacional seria utilizado como a interface de entrada foram realizados dois mapeamentos para este instrumento lembrando que os dados obtidos pela interface de entrada foram mapeados em valores e enviados pelo ALSA MIDI para os sintetizadores MIDI. O primeiro mapeamento seguiu a seguinte lógica, toda vez que a interface de entrada realizava uma leitura era enviado os valores extraídos em  $x$  e  $y$  para cada mão. Os valores em  $x$  de ambas as mãos foram normalizados em valores que representassem notas, os valores em  $y$  foram normalizados para representar a dinâmica da nota representada por  $x$ , assim a cada leitura da interface de entrada eram enviados 4 sinais para o sintetizador: duas notas representadas pelos valores obtidos na imagem no eixo  $x$ , e seus respectivos volumes representados pelos valores obtidos na imagem no eixo  $y$ .

O segundo mapeamento foi realizado setorizando a imagem em 4 quadrantes, quando a interface de entrada emite os valores, o mapeamento adota um estado específico para cada quadrante que as mãos do músico se encontram, os valores de  $x$  e  $y$  são combinados para controlar em cada estado notas e volumes de uma maneira diferente.

## 5. Discussão

Quando um músico toca um instrumento acústico, peculiaridades da forma como ele explora as interações entre o gestual e o som intrínsecas à composição física deste, individualizam e enriquecem a sua performance. A mesma sensação deve ser transmitida e explorada ao se tocar um IMD e é essa a parte mais desafiadora da criação de IMDs.

As diversas formas de mapeamento apresentadas nesse artigo para os dispositivos de entrada escolhidos servem para reforçar o quanto esse processo é importante na criação de um IMD. Dentro da estrutura tripartite, a alteração de qualquer uma das partes acarreta em um produto final completamente novo. E destas três, o mapeamento é aquele que apresenta mais possibilidades e também é de mais fácil manipulação. E são as estratégias usadas na definição dos mapeamentos que criam a identidade do IMD ao definir como as interações musicais acontecerão, como o gestual será traduzido para a parte sonora. Como

discutido em [Hunt et al. 2003], são essas características que farão com que a experiência de tocar um IMD se aproxime à de tocar um “instrumento de verdade”.

Mapeamentos simples, como os primeiros apresentados tanto para a câmera quanto para o controle, podem parecer interessantes a princípio por serem fáceis de controlar e entender. É esperado entretanto que despertem pouco interesse por parte do usuário, como ocorre com pianos e demais brinquedos sonoros de crianças. Neles não há muito o que se aprender nem habilidades a serem desenvolvidas. A experiência com música e o conhecimento de partituras pode te permitir tocar algumas músicas sem dificuldade mas entendemos que dispositivos de entrada com tantas possibilidades como os escolhidos precisam trazer algo de novo.

A abstração de uma máquina de estados que controla as configurações do mapeamento foi uma proposta que encontramos utilizando uma ferramenta comum da área de Ciências da Computação. Ela permite maior explorabilidade ao se tentar entender como essas mudanças de estado se relacionam com os botões que produzem som. Além disso, apresenta uma dificuldade moderada para o aprendizado, o que é bastante importante. A dificuldade serve também pra despertar interesse e trazer uma sensação de realização ao se alcançar o domínio. Por outro lado, como buscamos explicitar no terceiro mapeamento do controle, a dificuldade em excesso pode ter um resultado contrário.

Como mapeamento influencia diretamente a expressividade da interação musical [Hunt et al. 2003], concluímos ser importante a capacidade de trabalhar com mais características do som. Para isto, não parece ser necessário ou obrigatório programar um novo sintetizador e pode ser possível explorar um pouco mais sintetizadores existentes. Muitos sintetizadores MIDI possuem capacidade de aceitar sinais MIDI de controle para manipular parâmetros de síntese como LFO, característica do envelope, Filtros, entre outros. Mapear estes parâmetros a partir dos controles escolhidos permitiria que os nossos IMDs fossem menos genéricos, mas com mais possibilidades de mapeamentos e descobertas timbrísticas. E ainda, com adaptações pequenas neste, o IMD ainda pode ser utilizado em sintetizadores diferentes.

Além disso diversas formas de mapeamentos podem auxiliar na interação do usuário já que usuários com mais experiência musical, ao receberem o *feedback* sonoro podem compreender melhor o mapeamento, que músicos sem tanta experiência. Porém como os mapeamentos apresentados neste trabalho apresentam uma lógica que programadores estão mais acostumados a encontrar no dia a dia, pode ser que pessoas com facilidade para compreender máquinas de estados possam ter mais facilidade para compreender alguns mapeamentos. Com isso acreditamos que o processo de interação com o instrumento digital estimula a criatividade e permite que os músicos explorem novas maneiras de criar música.

Um problema a ser notado na escolha do joystick como interface musical é que seus botões não possuem nenhum sensor de pressão para ser relacionado ao atributo velocidade (ou intensidade) da nota, que aparece no protocolo MIDI. Isso pede que essa característica seja tratada através de alguma interface ou estratégia de mapeamento, o que foge um pouco do significado semântico de um gesto musical de controle. Nossos experimentos preliminares sugerem que os usuários pressionam os botões com mais vigor esperando controlar parâmetros de dinâmica do som, o que não acontece devido a esta ca-

racterística do dispositivo. Os destaques do controle são com certeza o par de alavancas, pois essas tem grande potencial quanto a expressividade de quem toca o IMD. Um bom mapeamento para esse dispositivo deverá levar isso em consideração.

A utilização da mão no controle usando câmera de vídeo apontou para uma questão do alto processamento envolvido que pode prejudicar a sensação de fluidez do usuário que estiver interagindo com o sistema. Este alto processamento se dá em função da utilização de uma câmera comum para simular funcionalidades presentes em equipamentos especializados como o próprio Kinect da Microsoft.

A opção de desenvolver um sintetizador próprio, permitiria uma maior liberdade para explorar parâmetros mais interessantes e influenciar não apenas duração, altura e dinâmica mas também atributos timbrísticos. Como lembra Miller Puckette, autor do Pure Data: “O processo de fazer música computacional é, primeiro, escrever um software, e então fazer música com ele”[Puckette 2002]<sup>1</sup>. Neste momento utilizou-se os sintetizadores disponíveis no Linux Multimedia Studio (LMMS) para o feedback sonoro de nossos instrumentos. Porém, certamente a pesquisa sobre criação de instrumentos deve passar pela criação de sintetizadores e isto deverá trazer diversas novas possibilidades para este trabalho.

## 6. Conclusão

Este trabalho apresentou o processo de construção de instrumentos musicais baseados em dispositivos de controles não convencionais para este fim. Este processo se deu como um processo criativo onde decisões locais foram tomadas de maneira a permitir que a criação de um instrumento ocorresse de forma total. Certamente existem outras possibilidades de explorar de maneira criativa a construção de novos instrumentos musicais.

A escolha de ferramentas ubíquas como uma câmera ou um controle de videogame, assim como a utilização do MIDI que já é bastante difundido, permitem que outras pessoas com conhecimento básico de programação possam criar as suas próprias implementações. A utilização de um sintetizador digital para um IMD reforça a capacidade de se adequar a estrutura do instrumento ao som e interação desejada. O sintetizador pode ser escolhido ou até mesmo criado através de programação musical para atender às necessidades do projeto. Posteriormente, no processo de fazer música, os resultados pode indicar a necessidade de modificá-lo ou até mesmo descartá-lo.

As ideias aqui apresentadas servem como base da discussão e os mapeamentos ainda devem ser trabalhados e aprimorados. A facilidade que o MIDI trás para determinar e modificar mapeamentos permite que esse processo seja feito se preocupar com resultados concretos, através da experimentação. Os códigos podem ser criados, modificados e descartados sem muita dificuldade. Não é o foco a princípio criar e popularizar um novo instrumento, mas destacar a possibilidade de, com poucas alterações, criar instrumentos específicos para diversas situações.

O processo de determinar e testar formas de mapeamento para IMDs é com certeza a parte mais interessante e desafiadora de lidar com esse tipo de instrumento. Nele há espaço para que a imaginação se solte e novas formas de interação sejam criadas. Mudanças são fáceis de serem feitas, então não há porque se apegar a códigos prontos. Também

---

<sup>1</sup>“The process of doing computer music is, first, to write software, and then to make music with it.”

é aconselhado que se fuja de senso comum ao se pensar maneiras de tocar. Principalmente nesse caso onde se trabalha IMDs sem nenhuma relação óbvia com instrumentos acústicos. No fim espera-se alcançar um instrumento final capaz de entreter, desafiar e encantar os usuários.

Os autores gostariam de agradecer aos participantes do Grupo de Estudo em Arte Digital do Departamento de Computação da Universidade Federal de São João del-Rei. Este grupo interdisciplinar envolve alunos e professores de vários cursos como Ciência da Computação, Música, Artes Cênicas, Artes aplicadas e Matemática é a base desta pesquisa. Estudamos a possibilidade de incluir esses instrumentos na criação de um espetáculo e integrar este projeto na Orquidea - Orquestra de Ideias, deste grupo de estudo. Os autores gostariam de agradecer também aos membros do ALICE (Arts Lab in Interfaces, Computers, and Everything Else) que auxiliaram nos debates e desenvolvimento deste projeto. Os autores gostariam de agradecer o apoio financeiro institucional da FAPEMIG, CNPq e da PROPE/PROAE/UFSJ.

Os códigos-fonte de todas as aplicações apresentadas neste artigo podem ser encontradas nos repositórios dos autores, disponível em <http://alice.dcomp.ufsj.edu.br>.

## Referências

- Ariza, C. (2012). The dual-analog gamepad as a practical platform for live electronics instrument and interface design. In *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*, Ann Arbor, Michigan. University of Michigan.
- Blessing, M. and Berdahl, E. The joystyx: A quartet of embedded acoustic instruments.
- Bradski, G. and Kaehler, A. (2008). *Learning OpenCV: Computer vision with the OpenCV library*. "O'Reilly Media, Inc."
- Ferreira, J. P., Dias, D. R., Guimarães, M. P., and Laia, M. A. (2018). An rgb-based gesture framework for virtual reality environments. In *International Conference on Computational Science and Its Applications*, pages 790–803. Springer.
- Gonzalez, R. C. and Woods, R. E. (2000). *Processamento de imagens digitais*. Edgard Blucher.
- Hunt, A., Wanderley, M. M., and Kirk, R. (2000). Towards a model for instrumental mapping in expert musical interaction. In *ICMC*. Citeseer.
- Hunt, A., Wanderley, M. M., and Paradis, M. (2003). The importance of parameter mapping in electronic instrument design. *Journal of New Music Research*, 32(4):429–440.
- Monteiro, A. C. et al. (2012). Criação e performance musical no contexto dos instrumentos musicais digitais.
- Nieto, O. and Shasha, D. (2013). Hand gesture recognition in mobile devices: Enhancing the musical experience. *Proc. of CMMR*, 13.
- PATRÍCIO, E. (2010). *Instrumentos musicais digitais—uma abordagem composicional*. PhD thesis, Dissertação (Mestrado)—UFPA-Universidade Federal Do Paraná, Departamento De Artes, Curitiba, 2010. Citado na.

- Phon-Amnuaisuk, S., Rezahanjani, K., Momeni, H. R., and Khor, K. (2009). Virtual musical instruments: air drums. In *Proceedings of the Sixth International Conference on Information Technology in Asia (CITA 2009)*, Kuching, Sarawak, pages 95–99.
- Pritchett, J. (1988). From choice to chance: John cage’s concerto for prepared piano. *Perspectives of New Music*, pages 50–81.
- Puckette, M. (2002). Max at seventeen. *Computer Music Journal*, 26(4):31–43.
- Trail, S., Dean, M., Odowichuk, G., Tavares, T. F., Driessen, P. F., Schloss, W. A., and Tzanetakis, G. (2012). Non-invasive sensing and gesture control for pitched percussion hyper-instruments using the kinect. In *NIME*.
- Won, S. Y., Chan, H., and Liu, J. (2004). Light pipes: A light controlled midi instrument. In *Proceedings of the 2004 conference on New interfaces for musical expression*, pages 209–210. National University of Singapore.