

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
PROGRAMA INSTITUCIONAL DE BOLSAS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA –
PIBIC/CNPq-Fundação Araucária-UEM
DEPARTAMENTO DE MÚSICA E ARTES CÊNICAS**

**UM JARDIM CIBERNÉTICO EM SHAMBHALA: CRIAÇÃO DE
UM AMBIENTE VIRTUAL SONORO-MUSICAL MEDITATIVO
AUTOMÁTICO E INFINITO, SINTETIZADO
ALGORITMICAMENTE VIA COMPUTADOR**

Relatório contendo os resultados finais do projeto de iniciação científica vinculado ao PIBIC/CNPq-Fundação Araucária - UEM.

Orientador:
Prof. Dr. Marcus Alessi Bittencourt

Bolsista:
Francisco Alves de Oliveira

Maringá
2020

RESUMO

Este projeto de pesquisa teve o objetivo de criar uma peça de software original capaz de gerar de maneira algorítmica e automática uma obra musical de paisagem sonora para ser projetada de maneira ininterrupta ou via *online streaming* ou por alto-falantes em espaços destinados a meditação e experiência estética, tais como galerias de arte, museus, espaços públicos e espaços de prática de artes marciais meditativas em geral como Tai-Chi-Chuan e Yoga. Este projeto se justifica na medida em que se integra de maneira expressiva nas atividades de pesquisa, ensino, extensão e criação artística do Laboratório de Pesquisa e Produção Sonora (LAPPSO) do Departamento de Música e Artes Cênicas da UEM, além de contribuir para a pesquisa na área da criação musical por meio de automação algorítmica computacional. A metodologia utilizada na pesquisa incluiu o levantamento e estudo do material bibliográfico para a sua fundamentação, incluindo o conceito de paisagem sonora, as técnicas e paradigmas contemporâneos de composição musical, a programação computacional de áudio, *sampling* e síntese sonora digital, os ambientes de programação de áudio Pure Data e Rtcmix, e metodologias computacionais musicais algorítmicas para a composição musical automatizada. A partir destes estudos foi desenvolvido um sistema musical e compostos materiais musicais apropriados para o tipo de expressão musical meditativa vislumbrado; foi também desenvolvida uma orquestra de instrumentos musicais virtuais digitais utilizando-se dos estudos de base previamente realizados de síntese e *sampling*. Após estas tarefas, foi programado um software no ambiente de programação visual Pure Data capaz de gerar automaticamente e ininterruptamente uma obra musical de paisagem sonora nos moldes vislumbrados; este software foi implantado como um *live stream* de áudio no YouTube.

Palavras-chave: composição algorítmica, música automática, música meditativa, Pure Data.

1. INTRODUÇÃO.

Este projeto de pesquisa de iniciação científica teve como objetivo criar, por meio de um algoritmo computacional original que foi projetado e construído especialmente para este fim, uma obra musical/paisagem sonora para ser projetada de maneira ininterrupta em espaços destinados a meditação e experiência estética. A ideia aqui era a de que a paisagem sonoro-musical a ser criada fosse gerada em tempo real por meio de uma peça algorítmica de software operando de maneira automática e ininterruptamente contínua.

É interessante destacar que a fascinação da humanidade com instrumentos musicais automáticos é milenar e o interesse em procedimentos algorítmicos para criar música é ao menos centenário. Historicamente, há uma longa linhagem milenar de instrumentos-esculturas construídos para serem tocados de maneira automática pela ação de elementos atmosféricos, geralmente o vento ou a água. Como exemplos destes instrumentos, há desde os *tintinnabulum* da Roma antiga – que eram sinos suspensos para serem tocados pelo vento, colocados em jardins e átrios de casas para afastar espíritos ruins (JOHNS, 1982: p. 67-68) – até os sinos-de-vento, aparatos comuns por exemplo a milênios no sudoeste da Ásia, nos quais lâminas de metal, vidro ou bambu, cada uma soando uma nota musical específica quando percutida, são colocadas dependuradas para serem tocadas pela ação do vento (WESTCOTT, 1970: p. 13). Outro exemplo arcaico de instrumento automático tocado pelos elementos atmosféricos é a harpa eólia, um instrumento automático constituído por cordas esticadas ao vento e por ele tocadas, inventado e conhecido por várias culturas humanas desde a antiguidade e que foi descrito pelo polímata alemão Athanasius Kircher (1602-1680) em seu livro "*Phonurgia Nova*", de 1673 (HANKINS & SILVERMAN, 1995: p. 89). A ação da água também é um elemento bastante utilizado para acionar instrumentos musicais automáticos; um exemplo elegante disto é o *suikinkutsu*, ou “caverna do *koto* aquático”, que é um componente de jardins japoneses originado no período Edo (1603-1867) e que consiste em um vaso enterrado de borco sob uma pequena fonte de água que, ao gotejar pelo interior daquele vaso, produz sonoridades delicadas de altura definida que ressoam pelo dispositivo (BREWER, 2007: p. 229). Aliás, é curioso sublinhar que um modelo computacional automatizado dos *suikinkutsu* foi desenvolvido por Gregory Brewer (ver BREWER, 2007), visando o contexto de um jardim japonês virtual, desenvolvido como tese de mestrado na Austrália (BREWER, 2009). Para dar também um exemplo

moderno de instrumento-escultura tocado pela ação da água, há o órgão marítimo em Zadar, Croácia, criado pelo arquiteto croata Nikola Bašić (n. 1946), que é uma construção fixa à beira-mar que gera sons musicais automaticamente a partir do movimento das marés (STAMAC, 2005).

A automatização do próprio processo de escrita composicional musical também foi uma preocupação presente na mente de vários pesquisadores ao longo da história. Típicos exemplos históricos do uso de algoritmos para a geração automática de música a partir de operações de sorte são os *Musikalisches Würfelspiel* (jogos musicais de dados) populares na Europa germânica do século XVIII, jogos em que fragmentos musicais pré-compostos eram ordenados segundo escolhas realizadas a partir dos resultados de jogadas de dados. Dois dos primeiros exemplos deste tipo de jogo são o "*Der allezeit fertige Menuetten- und Polonaisencomponist*" ("O Sempre-Pronto Compositor de Minuetos e Polonaises"), criado pelo alemão (e notório teórico musical discípulo de J. S. Bach) Johann Philipp Kirnberger (1721-1783) em 1757 (ver COPE, 1996: p. 2), e o "*Table pour composer des minuets et des Trios à l'infinie; avec deux dez à jouer*" ("Diagrama para compor minuetos e trios infinitamente através do jogo de dois dados"), projetado em torno de 1780 pelo austríaco Maximilian Stadler (1748-1833) (ver NIERHAUS, 2009: p. 36). O uso contemporâneo de algoritmos computacionais para criar música teve como um de seus pioneiros o grego Iannis Xenakis (1922-2001), que descreveu a aplicação de princípios estocásticos e cadeias de Markov na composição musical em seu livro "*Musiques Formelles*" de 1963 (XENAKIS, 1992). Desde então, houveram numerosos exemplos de pesquisas de técnicas algorítmicas para geração automática de música, aplicando-se variadas técnicas como o uso de gramáticas gerativas, de algoritmos genéticos, da teoria do caos, de autômatos celulares e de redes neurais, dentre outros métodos, além do uso de aplicativos de inteligência artificial (ver NIERHAUS, 2009). Neste sentido, várias estratégias para se desenvolver inteligências musicais artificiais são descritas no importante livro "*Experiments in Musical Intelligence*", de David Cope (COPE, 1996). Um exemplo de composição musical algorítmica projetada para ser gerada em tempo real e de maneira contínua durante um período indeterminado de tempo (sendo assim uma peça virtualmente "infinita") é a *Lexikon-Sonate*, para *Disklavier* (um piano acústico da Yamaha controlável via protocolo computacional MIDI), composta por Karlheinz Essl em 1994 (ESSL, 1995). Essl tem inclusive dedicado uma boa parte de suas preocupações composicionais para

este tipo contínuo de composição auto-gerável em tempo real, como fica claro nas listagens de suas composições deste tipo em seu website pessoal (<http://www.essl.at/software.html>).

Considerando-se todo este contexto, este projeto de pesquisa fez uso do ambiente gráfico de programação Pure Data (PUCKETTE, 1997) – que serve para processamento em tempo real de áudio e vídeo –, aliado à linguagem de programação computacional musical RTcmix (GARTON & TOPPER, 1997), para projetar e construir uma peça de software capaz de produzir algoritmicamente e de maneira automática uma composição musical contínua (ou seja, virtualmente infinita) e de expressão predominantemente delicada e pacífica, apropriada para servir como peça de paisagem sonora para ser projetada em ambientes utilizados para meditação e experiencição estética, tais como galerias de arte, museus, espaços públicos e espaços de prática de artes marciais meditativas em geral, como Tai-Chi-Chuan e Yoga. Esta proposta de um ambiente perene (em tese infinito) e imersivo para a escuta se insere também na problemática criativa da paisagem sonora, um termo criado pelo canadense Murray Schaefer para designar “tecnicamente, qualquer porção do ambiente sonoro considerado como um campo de estudos, se referindo tanto a ambientes reais como a construções abstratas tais como composições musicais e montagens de gravações sonoras, particularmente quando consideradas como um ambiente” (SCHAFER, 1994: p. 274). O nome dado para a obra musical resultante desta pesquisa, “Um Jardim Cibernético em Shambhala”, leva em consideração o perfil algorítmico e caráter automático do projeto. Segundo o pesquisador inglês Gregory Bateson (1904-1980), a Cibernética é “um ramo da matemática que lida com problemas de controle, recursividade e informação” (BATESON, 1979: p. 227); assim, esta palavra é aqui utilizada como adjetivo para caracterizar um algoritmo computacional capaz de manejar automaticamente material musical e de se regular automaticamente, retroalimentando-se em direção a algum estado homeostático, ou seja, um estado de equilíbrio. Já a menção a “*Shambhala*”, diz respeito a um reino legendário da mitologia tibetana, considerado uma fonte de sabedoria e cultura, um lugar de paz e prosperidade, uma sociedade modelo, populada por habitantes gentis, sábios e compassivos (TRUNGPA, 1988: p. 25).

2. OBJETIVOS, JUSTIFICATIVA E METODOLOGIA.

2.1. OBJETIVOS.

- Objetivo Geral:
 1. Criar uma peça original de software capaz de gerar de maneira algorítmica e automática uma obra musical/paisagem sonora para ser projetada de maneira ininterrupta ou via *live streaming* ou via alto-falantes em espaços destinados a meditação e experiência estética.

- Objetivos Específicos:
 1. Estudar métodos de composição musical algorítmica de maneira especialmente relacionada ao conceito de paisagem sonora;
 2. Estudar métodos de *sampling* e de síntese de áudio digital, incluindo a modelagem física e a *waveguide synthesis*;
 3. Estudar as linguagens computacionais de programação de áudio Pure Data e RTcmix;
 4. Desenvolver um sistema musical e com este compor material musical apropriado para o tipo de expressão musical meditativa vislumbrado para este projeto;
 5. Desenvolver uma orquestra de instrumentos musicais virtuais digitais por meio das técnicas estudadas de *sampling* e de síntese;
 6. Programar um software no ambiente de programação Pure Data capaz de gerar automaticamente e ininterruptamente uma obra musical de paisagem sonora segundo o tipo de expressão musical meditativa vislumbrado para este projeto e agenciando todos os demais componentes estudados e desenvolvidos;
 7. Implantar o software criado por esta pesquisa como um *live streaming* de áudio no YouTube;
 8. Escrever um artigo científico formalizando as pesquisas realizadas;
 9. Acrescentar todo material bibliográfico, computacional e criativo produzido pela pesquisa no website de documentação do Laboratório de Pesquisa e Produção Sonora (LAPPSO) da UEM.

2.2. JUSTIFICATIVA.

Este projeto de Iniciação Científica se integra de maneira expressiva nas atividades de pesquisa, ensino, extensão e criação artística do Laboratório de Pesquisa e Produção Sonora (LAPPSO) do Departamento de Música e Artes Cênicas da UEM, criado em 2006 e cadastrado no diretório de grupos de pesquisa do CNPq, que desempenha papel fundamental nas pesquisas da linha de pesquisa “Processos e Práticas de Construção e Expressão Musicais” do Programa de Pós-Graduação em Música da UEM (PMU). Somando-se às atividades de pesquisa do LAPPSO e do PMU, este estudo contribuiu com os esforços de produção de material bibliográfico do laboratório, acrescentando os resumos, escritos, softwares e criações artísticas originais produzidos pela pesquisa ao website de documentação do LAPPSO. Além de contribuir em geral para a pesquisa na área da criação musical por meio de automação algorítmica computacional, a peça musical de paisagem sonora criada pelo projeto é pertinente para ser projetada em ambientes utilizados para meditação e experiência estética, tais como galerias de arte, museus, espaços públicos e espaços de prática de artes marciais meditativas em geral, como Tai-Chi-Chuan e Yoga. A composição pode também ser experienciada em casa na forma de um *live streaming* de áudio pela internet.

2.3. METODOLOGIA.

Esta pesquisa se iniciou com o levantamento e estudo do material bibliográfico que fundamenta: a) o conceito de paisagem sonora (SCHAFER, 1994) e as técnicas e paradigmas contemporâneos de composição musical (WISHART, 1996; ROADS, 2015); b) a programação computacional de áudio digital (BOULANGER & LAZZARINI, 2011) e a síntese sonora digital (RUSS, 2004; PEJROLO & METCALFE, 2017;), incluindo suas vertentes de modelagem física (COOK, 1997) e de *waveguide synthesis* (VÄLIMÄKI, LAURSON & ERKUT, 2003; GABRIELLI, VÄLIMÄKI et al., 2013), além da técnica de *sampling* (RUSS, 2004); c) os ambientes de programação de áudio Pure Data (PUCKETTE, 2007; FARNELL, 2010) e RTcmix (SOMMERFELDT, 2016); d) a composição algorítmica por meio de computadores (NIERHAUS, 2009; RECK MIRANDA, 2001; XENAKIS, 1992; ROADS, 2015); e) os métodos de modelagem para composição musical automática (COPE, 1996) e alguns exemplos de implementação disto (BREWER, 2007 e 2009; ESSL, 1995). Após esta pesquisa bibliográfica de base, foi desenvolvido um sistema musical e com este sistema foram

compostos materiais musicais apropriados para o tipo de expressão musical predominantemente meditativa vislumbrado para este projeto. Após esta etapa, para implementar sonoramente os materiais musicais criados, foi desenvolvida uma orquestra de instrumentos musicais virtuais digitais utilizando-se dos estudos de base previamente realizados de programação computacional de áudio, de ambientes de programação de áudio e de *sampling* e síntese digital sonora. Com esta orquestra virtual desenvolvida, foi então criado um software no ambiente de programação Pure Data capaz de gerar automaticamente e ininterruptamente uma obra musical de paisagem sonora segundo o tipo de expressão musical meditativa vislumbrado para este projeto e agenciando todos os demais componentes estudados e desenvolvidos. Após o desenvolvimento desta peça de software, pretendeu-se originalmente implantá-la como uma instalação sonora temporária em uma das galerias do Museu Dinâmico Interdisciplinar (MUDI) da UEM. Todavia, devido à pandemia COVID-19, a obra foi alternativamente implantada como um *live streaming* de áudio no YouTube. Os elementos tecnológicos para realizar esta pesquisa, dentre hardware e software, estavam todos disponíveis no Laboratório de Pesquisa e Produção Sonora (LAPPSO) do Departamento de Música da UEM e seu Programa de Pós-Graduação em Música (PMU). O projeto finalizou-se com a formalização da pesquisa realizada em formato de artigo científico (a ser apresentada no EAIC-UEM 2020), e incluiu ainda a transferência dos materiais bibliográficos, computacionais e criativos gerados pela pesquisa para o website de documentação do Laboratório de Pesquisa e Produção Sonora da UEM.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.

A composição foi criada com a linguagem de programação visual de código aberto Pure Data, originalmente desenvolvida por Miller Puckette (PUCKETTE, 1997) para o processamento em tempo real de áudio e vídeo (<http://www.puredata.info>). O *patch* da composição pode ser executado em qualquer computador pessoal com Linux, Windows ou Mac OS X, preferencialmente num sistema com no mínimo um processador dual-core de 2GHz e 1Gb de RAM, equipado com uma placa de áudio adequada; o computador deve ter Pure Data instalado na versão 0.51.0 ou superior, com as bibliotecas *zexy*, *cyclone*, *ggee*, *iemlib*, *rtcmix~*, *freeverb~* e *PeRColate*, que são todas livremente distribuídas pela internet.

3.1. INSTRUMENTAÇÃO.

O projeto iniciou-se com discussões e pesquisas sobre quais seriam os métodos a serem utilizados para o *design* de uma orquestra virtual e seus instrumentos, incluindo experimentos com as técnicas de computação musical de *sampling* e síntese sonora (RUSS, 2004). O conjunto de instrumentos virtuais foi projetado para ser algo como uma *mis-reading* Bloomsiana de uma orquestra oriental, na qual alguns instrumentos foram feitos para soar de uma maneira bem realista, como instrumentos físicos do mundo real, principalmente de origem asiática, e outros instrumentos foram intencionalmente desenvolvidos para soar como uma versão sintética ou eletrificada desses instrumentos. Com isto, foi criada uma orquestra que inclui os seguintes instrumentos virtuais:

- um conjunto de Gamelão Javanês, que foi implementado por *sampling*;
- um *Shakuhachi*, uma flauta de bambu tradicional japonesa, que foi implementada por *sampling*;
- *Qin*, um instrumento de cordas beliscadas inspirado pelo *guqin*, um instrumento tradicional chinês, que foi implementado com uma versão especial do método de síntese de Karplus & Strong;
- o *Suikinkutsu*, um coro de gotas de água que emula a “caverna do *koto* aquático”, um instrumento automático presente em certos jardins e parques japoneses, que consiste em um vaso enterrado de cabeça para baixo sob uma área de escoamento de água como por exemplo uma fonte, fazendo gotejar em

seu interior e gerando sons de altura definida que ressoam dentro do instrumento. Esta peça foi implementada com a combinação das técnicas de *sampling* e processamento de áudio digital (filtragem via *comb filters*).

- uma electrorimba, um instrumento artificial que foi inspirado na marimba, sintetizada digitalmente por modelagem física;
- um conjunto de tambores *Taiko*, implementados por *sampling*;
- uma camada de sons ambientes, completando o universo sonoro da peça com efeitos sonoros contínuos de água e de vento (implementados com uma versão especial de síntese granular), e a interação de um grupo de insetos (sintetizados com síntese aditiva), emulando insetos ouvidos em uma gravação feita em espaço aberto no litoral do Paraná.

3.1.1. QIN.

Os primeiros testes deste instrumento foram feitos com a linguagem de programação musical RTcmix (GARTON & TOPPER, 1997), que inclui em seu código um excelente algoritmo capaz de sintetizar sons de cordas beliscadas ou percutidas por meio da técnica de Karplus & Strong (KARPLUS & STRONG, 1983). Com este algoritmo, foi possível fazer ajustes precisos nos parâmetros da síntese, tais como precisão na afinação, vibratos e também a maneira como é simulada a dedilhação de uma corda (técnicas naturalmente aplicadas em instrumentos como harpa, guitarra, *qin*, *koto*). O instrumento criado para este projeto que simula uma corda dedilhada foi batizado de Qin (em referência ao instrumento tradicional chinês).

Na síntese de Karplus & Strong, o ataque do som é feito com um curto impulso de ruído, que depois passa por um *delay* responsável pela frequência do som e em seguida passa por um filtro *low pass* que retroalimenta o *delay* até que o som desapareça. As intensidades da retroalimentação e do filtro *low pass* definem o tempo que a nota soará. Para se chegar em um resultado expressivo musicalmente que atenda às necessidades de representar um instrumento de corda em uma orquestra virtual, o método de síntese sonora Karplus Strong necessitou de ajustes finos. Na linguagem de programação Rtcmix, foi possível ajustar meticulosamente essas configurações com a ferramenta STRUM, já inclusa na linguagem. Neste código há configurações para ajustes de vibrato, variações de amplitude e variações na intensidade do ataque. Nosso algoritmo programado na linguagem RTcmix teve incluso em seu código uma entrada

de dados para receber informações de frequência providas do gerador de melodia feito no Pure Data. A versão final do código para o Qin foi a seguinte:

```
load("STRUM2")
  freq = makeconnection("inlet", 1, 440)
  time = (random()*0.1)+0.03
  time = 0.03
  a = (60/59)
  b = (37/36)
  c = ((b - a)*random()) + a
  ambito = (freq*c)-freq
  if (trand(5) != 0){
    vibAmpEnv = maketable("curve","nonorm", 1000, 0, 0, 4,
  irand(10, 30), 1, -8, 100, 0)
  }
  else{
    vibAmpEnv = maketable("line","nonorm", 1000, 0, 0, 100, 0)
  }
  a = 2
  b = 8
  c = ((b - a)*random()) + a
  vib = makeLFO("sine", c, 1);
  a = .4
  b = 1.4
  amp = ((b - a)*random()) + a
  a = 4
  b = 7
  c = ((b - a)*random()) + a
  STRUM2(time, c, 12000*amp*4, freq +
(vib*ambito*vibAmpEnv), 20 + random()*30, 1 + random()*3, .5);
```

3.1.2. ELECTRORIMBA.

Também foi programado um instrumento similar a uma marimba utilizando a biblioteca “PeRColate” para o Pure Data, que contém algoritmos de modelagem física adaptados a partir da biblioteca *The Synthesis Toolkit* (STK), de Perry Cook e Gary Scavone (COOK & SCAVONE, 1999).

Os primeiros experimentos com sons no estilo da marimba foram feitos com os algoritmos de modelagem física contidos na linguagem de programação musical RTcmix a partir da mesma biblioteca STK. No entanto, estes algoritmos não tiveram um bom desempenho aliado ao Pure Data durante a execução e foi necessário encontrar outro método para fazer o papel deste instrumento de percussão. Por fim foi construída uma espécie de marimba eletrificada utilizando a biblioteca “PeRColate” mencionada anteriormente, uma biblioteca de código aberto para o software Pure Data.

3.1.3. SHAKUHACHI.

O *shakuhachi* é uma flauta tradicional japonesa, sendo a flauta vertical mais comum do Japão (MIKI, 2008: p. 35). A implementação deste instrumento foi

desenvolvida a partir de amostras de áudio provenientes de uma gravação de um instrumentista japonês que foram recortadas em cerca de quatrocentos pequeníssimos fragmentos. Estas amostras foram posteriormente indexadas, classificadas e acondicionadas em um banco de dados para serem utilizadas re-amostradas segundo as afinações e sequências definidas pelo projeto composicional. Para implementar este instrumento, foi selecionada uma gravação com áudio de alta qualidade para que as amostras pudessem ser transpostas sem perda de qualidade. Com o áudio em mãos, primeiro fizemos alguns experimentos com recorte manual de amostras, utilizando cerca de 10 amostras selecionadas e re-amostrando segundo as afinações das escalas. Todavia, não sendo suficiente este pequeno conjunto de amostras, foi construído um algoritmo que faz automaticamente a identificação de cada um das centenas de fragmentos sonoros, identificando a altura definida da nota e seus inícios e términos. Com este banco de amostras indexadas foi possível ter uma grande variedade de sons de *shakuhachi*, que seriam re-amostrados nas afinações apropriadas para o objetivo musical da peça.

3.1.4. GAMELÃO.

O uso de um conjunto de Gamelão Javanês ocorreu neste projeto por termos sentido a necessidade de acrescentar a ele sons de sinos e gongos de altura definida, que são instrumentos bastante idiomáticos para o objetivo musical desejado. Para isto, não foi preciso criar um modelo virtual novo, pois já havia um construído anteriormente em um outro projeto de PIBIC do Laboratório de Pesquisa e Produção Sonora da UEM, igualmente utilizando-se do software Pure Data (DA SILVA & BITTENCOURT, 2011). Este modelo foi adaptado para se integrar às estruturas composicionais e o sistema musical deste projeto.

3.1.5. SUIKINKUTSU.

O *Suikinkutsu*, ou “caverna do *koto* aquático”, é um instrumento tradicional em jardins japoneses que consiste em um vaso enterrado virado de cabeça para baixo. Dentro deste vaso há um recipiente com água, onde ocorre gotejamentos vindos de uma fonte de água, produzindo sonoridades delicadas de altura definida que ressoam pelo dispositivo (BREWER, 2007: p. 229). A nossa versão foi construída a partir de amostras sonoras reais de gotas e água que foram processadas digitalmente por meio de uma

bateria de *comb filters* afinados segundo medições frequenciais de *suikinkutsus* reais feitas por Brewer (2009: p. 42).

3.1.6. TAIKO DRUMS.

Foi feito um conjunto de tambores *taiko*, que são tambores japoneses. Estes foram igualmente programados utilizando a técnica de *sampling* (RUSS, 2004), a partir de um banco de dados herdado de outros projetos do orientador desta pesquisa.

3.1.7. SONS AMBIENTAIS.

Uma camada de efeitos sonoros ambientais completa o mundo sonoro da composição criada, que consiste em sons de vento e água corrente implementados por meio de uma síntese granular de grãos longos a partir de um banco de dados de sons reais pré gravados.

Foi criado também uma camada sonora denominada “insetos” que emula os sons de um grupo de insetos que foram ouvidos no litoral do Paraná e gravados pelo bolsista durante uma excursão à ilha de Superagui. A gravação foi feita com um celular e não pôde ser utilizada como *sample* sonoro por estar muito poluída com ruídos ambientes de fundo. Entretanto, os sons de insetos puderam ser sintetizados artificialmente, programados utilizando-se a técnica de síntese aditiva (RUSS, 2004). A partir de uma análise espectral foi possível ter informações detalhadas da altura e da duração dos sons reais dos insetos, o que possibilitou uma reprodução sintética que fosse bastante similar ao som da gravação original. Nesta implementação, foi programado um grupo de sons polifônicos que pudesse soar como um, dois ou três insetos simultaneamente. Também foi implementado um sistema algorítmico que pudesse controlar a quantidade de insetos, as alturas definidas por eles emitidas e a amplitude de seus sons.

3.2. SOBRE O SISTEMA MUSICAL CRIADO.

O segundo passo no projeto foi o de desenvolver um sistema musical para a composição. Gerar em tempo real uma composição pelo computador necessitaria de uma série de algoritmos que fizessem a manipulação automática e ininterrupta do material musical da peça.

3.2.1. ESCALAS E MODOS.

Para as alturas definidas, foi desenvolvido um sistema de escalas que foi gerado pelo empilhamento de sequências específicas de intervalos justos a partir de uma altura inicial extramente grave em torno de 1 Hz. As escalas resultantes são reminiscentes de escalas tradicionais orientais, mas são artificiais e dificilmente poderiam ser tocadas por instrumentos comuns do mundo real. O algoritmo implementado recebe uma mensagem que contém uma sequência de intervalos justos e a partir desta sequência gera uma escala de 27 graus a partir da primeira aparição de uma altura de frequência maior que 45 Hz. Depois de construir este algoritmo capaz de gerar escalas/modos, experimentamos diversas sequências de intervalos para definir quais escalas melhor se encaixariam no objetivo musical da peça.

De maneira geral, o objetivo do *design* musical foi o de criar uma música que tivesse uma sonoridade de cunho asiática (apesar de incluir instrumentos eletrificados ou de origem sintética) e que trabalhasse de acordo com uma linguagem musical que evocasse tradições do mundo oriental, tanto no sentido rítmico quanto no harmônico, sendo ao mesmo tempo uma abstração sintética e experimental. Sendo assim, a linguagem musical harmônica terminou sendo um ambiente microtonal cujo processo algorítmico de geração resulta em escalas que se assemelham muito a algumas escalas étnicas da Ásia (como, por exemplo, a Kumoi japonesa, a Pelog balinesa e a escala pentatônica chinesa), mas que são na realidade escalas xenarmônicas artificiais não baseadas em oitavas. A composição criada seleciona cinco dessas escalas, as quais são submetidas a constantes transposições por uma série de intervalos de $5/4$. Teoricamente, essas escalas nunca voltariam a seu ponto de origem, mas na peça criada um pequeno erro de 9 centavos termina arredondado para fazer com que a 87ª transposição pertença ao mesmo *pitch-class* (uma oitava) do ponto de origem. A Figura 1 mostra a transposição de índice 0 de todas as escalas geradas por este método e utilizadas na composição, juntamente com as sequências de intervalos justos utilizadas na sua geração algorítmica.

ESCALAS MICROTONAIS UTILIZADAS

(em suas transposições de índice 0)

Pentatonic-ish A
 Ratios: $\frac{4}{3}$, $\frac{7}{6}$, $\frac{8}{7}$

Kumoi-ish A
 Ratios: $\frac{3}{2}$, $\frac{16}{15}$, $\frac{5}{4}$, $\frac{9}{8}$, $\frac{4}{3}$

Pelog-ish
 Ratios: $\frac{7}{4}$, $\frac{28}{25}$, $\frac{5}{4}$, $\frac{15}{14}$, $\frac{7}{6}$, $\frac{7}{5}$, $\frac{3}{2}$, $\frac{5}{4}$

Pentatonic-ish B
 Ratios: $\frac{7}{4}$, $\frac{8}{7}$, $\frac{7}{6}$, $\frac{9}{8}$, $\frac{7}{6}$, $\frac{4}{3}$, $\frac{3}{2}$

Kumoi-ish B
 Ratios: $\frac{88}{45}$, $\frac{10}{9}$, $\frac{6}{5}$, $\frac{9}{8}$, $\frac{16}{15}$, $\frac{11}{9}$, $\frac{4}{3}$, $\frac{3}{2}$, $\frac{6}{5}$, $\frac{8}{5}$

ACIDENTES MICROTONAIS UTILIZADOS

TONOS: $-\frac{3}{4}$ $-\frac{5}{8}$ $-\frac{1}{2}$ $-\frac{3}{8}$ $-\frac{1}{4}$ $-\frac{1}{8}$ 0 $+\frac{1}{8}$ $+\frac{1}{4}$ $+\frac{3}{8}$ $+\frac{1}{2}$ $+\frac{5}{8}$ $+\frac{3}{4}$

as alturas microtonais são indicadas aproximadas ao mais próximo oitavo de tono igualmente temperado, considerando A4 = 440 Hz

Figura 1. Escalas microtonais utilizadas na composição criada.

3.2.2. GERADORES DE MELODIAS E RITMOS.

Para utilizar as escalas algoritmicamente criadas, foi construído um gerador de melodias que foi programado para caminhar pelas escalas vigentes de uma maneira musical. Este gerador foi implementado por meio de cadeias de Markov (NIERHAUS, 2009: p. 68), que são sistemas de escolhas estocásticas feitas a partir de uma matriz probabilística de transição. Cada estado de uma cadeia de Markov armazena as probabilidades de mudança para outros estados, fazendo com que o estado futuro seja probabilisticamente definido pelo estado atual. No caso em tela, as cadeias de Markov foram utilizadas para implementar regras de perfil melódico que geram algoritmicamente melodias com perfil inspirado no desenho melódico dos *cantus firmi* utilizados na pedagogia tradicional do contraponto (FUX, 1965). Foi criado também um gerador de ritmos, que foi construído para criar em tempo real padrões rítmicos periódicos, igualmente por meio da aplicação de cadeias de Markov.

Para controlar todos estes elementos, foi implementado um centro de mensagens, que possibilita configurar os geradores de ritmo, geradores de melodia e instrumentos, através de mensagens de texto. Também foi instalado, em todos os instrumentos e geradores, um sistema de transporte de dados para que fosse possível receber e enviar dados de um objeto para outro, possibilitando que as melodias fossem direcionadas para qualquer instrumento com simples mensagens. Para que os instrumentos funcionassem automaticamente, foi configurado um conjunto de camadas de subdivisões de tempo, cada uma gerando ciclos rítmicos de variados tamanhos e com diferentes funções. As duas primeiras camadas foram dedicadas a controlar os geradores de melodias, a terceira camada ficou destinada a uma marcação temporal de fechamento de longos ciclos pelo acionamento dos gongos mais graves do gamelão, e a última camada ficou responsável por fazer gatilhar eventuais mudanças de padrões rítmicos, a escolha e transposição das escalas associadas às melodias, e as mudanças das combinações instrumentais e das velocidades das diferentes camadas temporais cíclicas.

3.2.3. ORGANIZAÇÃO MUSICAL GERAL.

O software que gera automaticamente a composição musical criada inclui ainda uma série de outros algoritmos, igualmente baseados em cadeias de Markov, para controlar e manipular:

- a própria evolução do sistema musical (gerando escalas microtonais e movendo-as por transposição);
- a mudança e sincronização de vários fluxos rítmicos, que são interligados por múltiplas regras de proporcionalidade e de mudança de andamento;
- a criação de dois fluxos melódicos, por meio de regras rígidas de perfil melódico;
- a maneira como os fluxos rítmicos e melódicos se combinam;
- a distribuição desses fluxos para os instrumentos virtuais, criando a possibilidade para solos, duetos, trios, e assim por diante, para gerar contraponto imitativo e diferentes tipos de polifonia;
- as “mudanças de cena” das texturas musicais;
- o equilíbrio dinâmico-musical dos instrumentos;
- a intensidade, movimento e densidade dos sons ambientais de vento, água e insetos;
- a musicalidade em geral do resultado final.

3.3. A INTERFACE PRINCIPAL DO SOFTWARE CRIADO.

O usuário do programa tem apenas que se preocupar em iniciar o Pure Data e seu processamento de áudio (DSP), regular o volume final, iniciar os sons ambientais (SFX – “Sound Effects”) e os sons instrumentais (botão *bang* marcado “START”). A Figura 2 mostra o design gráfico preparado para esta interface:



Figura 2. Interface gráfica do software que gera a composição criada pelo projeto.

4. CONCLUSÕES.

O software criado pelo projeto no ambiente de programação Pure Data demonstrou ser efetivamente capaz de gerar de maneira automática e ininterrupta uma obra musical segundo o tipo de expressão musical predominantemente meditativa originalmente vislumbrado. A obra pode ser implantada tanto como uma instalação sonora temporária (possivelmente em um museu ou centro cultural) como na forma de um *live streaming* ininterrupto (ou razoavelmente longo) pela internet, o que já tem sido experimentado com sucesso por meio da plataforma do YouTube. Requerendo do usuário apenas o gatilhamento inicial de sua inicialização, o software da composição produz algoritmicamente em tempo real e sem nenhuma mediação humana uma contínua e infinita composição/paisagem sonora que pode ser transmitida pela internet e/ou ser projetada por auto-falantes em espaços usados para meditação e contemplação estética, como museus, galerias de arte e espaços públicos dedicados para a prática de artes meditativas em geral como Tai Chi Chuan e Yoga.

No momento, é possível ouvir exemplos gravados do resultado musical produzido pelo software automático criado pelo projeto no seguinte *link* do YouTube:

https://www.youtube.com/playlist?list=PLFj8cjBxw21-wl_f-tNqjASbTwN8_nnNS

Este *link* contém uma *playlist* com gravações de diversas das transmissões ao vivo já realizadas a partir daquele software. Os materiais bibliográficos e produções relativos a esta pesquisa também foram disponibilizados no *site* do LAPPSO-UEM na página seguinte:

<http://www.dmu.uem.br/lappso/projetos/computacao-musical/a-cybernetic-garden-in-shambhala>

5. REFERÊNCIAS.

- BATESON, Gregory. *Mind and Nature: A Necessary Unity*. New York: E. P. Dutton, 1979.
- BOULANGER, Richard & LAZZARINI, Victor. *The Audio Programming Book*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 2011.
- BREWER, Scott. Creating a virtual suikinkutsu. In: *The 13th International Conference on Auditory Display*, Montreal, Canada, p. 229-233, 2007.
- BREWER, Scott. *The Modular Garden: towards real-time synthesis of Japanese garden soundscapes*. 2009. Tese (Masters by Research) – School of Architecture and Design, RMIT University, Melbourne, Australia.
- COOK, Perry R. & SCAVONE, Gary P.. The Synthesis Toolkit (STK). *Proceedings, International Computer Music Conference*, vol. 1999. San Francisco: International Computer Music Association, pp. 164-166, 1999.
- COOK, Perry R.. Physically Informed Sonic Modeling (PhISM): Synthesis of Percussive Sounds. *Computer Music Journal*, Vol. 21, No. 3 (Autumn, 1997), pp. 38-49, 1997.
- COPE, David. *Experiments in Musical Intelligence*. Madison, Wisconsin: A-R Editions, Inc., 1996.
- ESSL, Karlheinz. Lexikon-Sonate. An Interactive Realtime Composition for Computer-Controlled Piano. In: *Proceedings of the "II SBC&M - 2nd Brazilian Symposium on Computer Music"*. Porto Alegre: Instituto de Informática da UFRGS, p. 95-106, 1995.
- FARNELL, Andy. *Designing Sound*. Cambridge, MA: The MIT Press, 2010.
- FUX, J.J. *The Study of Counterpoint*. New York: W.W. Norton, 1965.
- GABRIELLI, Leonardo; VÄLIMÄKI, Vesa; HENRI, Penttinen; QUARTINI, Stefano; BILBAO, Stefan. A digital waveguide based approach for Clavinet modeling and synthesis. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing* 2013(1)(June), 2013.
- GARTON, Brad; TOPPER, Dave. RTcmix - Using CMIX in Real Time. *Proceedings, International Computer Music Conference*, vol. 1997. San Francisco: International Computer Music Association, pp. 224-227, 1997.

- HANKINS, T. L. & SILVERMAN, R. J.. *Instruments and the Imagination*. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1995.
- JOHNS, Catherine. *Sex or Symbol?: Erotic Images of Greece and Rome*. London: Britsh Museum Publications Ltd., 1982.
- KARPLUS, Kevin; STRONG, Alex. Digital Synthesis of Plucked-String and Drum Timbres. *Computer Music Journal*, Vol. 7, No. 2 (Summer, 1983), pp. 43-55.
- MIKI, Minoru. *Composing for Japanese Instruments* (trad. Marty Regan). Rochester, NY: University of Rochester Press, 2008.
- NIERHAUS, Gerhard. *Algorithmic Composition: Paradigms of Automated Music Generation*. Germany: Springer-Verlag/Wien, 2009.
- PEJROLO, Andrea & METCALFE, Scott B.. *Creating sounds from scratch: a practical guide to music synthesis for producers and composers*. New York: Oxford University Press, 2017.
- PUCKETTE, Miller. Pure Data. Proceedings, *International Computer Music Conference*, vol. 1997. San Francisco: International Computer Music Association, pp. 224-227, 1997.
- PUCKETTE, Miller. *The Theory and Technique of Electronic Music*. Singapore: World Scientific Press, 2007.
- RECK MIRANDA, Eduardo. *Composing Music with Computers*. Burlington, MA: Focal Press, 2001.
- ROADS, Curtis. *Composing Electronic Music: A New Aesthetic*. New York: Oxford University Press, 2015.
- RUSS, Martin. *Sound Synthesis and Sampling*. Burlington, MA: Focal Press, 2004.
- SCHAFER, Murray. *The soundscape: our sonic environment and the tuning of the world*. Rochester, Vermont: Destiny Books, 1994.
- DA SILVA, Emanuel Vasconcelos Isidoro; BITTENCOURT, M. A. Construção de um Gamelão Javanês virtual no ambiente de programação visual Pure Data, executável em tempo real via computação física. In: *XX Encontro Anual de Iniciação Científica (EAIC)*, 2011, Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPR), Ponta Grossa-PR, Brasil. Anais do XX EAIC. Ponta Grossa: EAIC, 2011.
- SOMMERFELDT, Jerod. *Computer Music Composition with RTcmix*. USA: edição do autor, 2016.
- STAMAC, Ivan. Acoustical and Musical Solution to Wave-Driven Sea Organ in Zadar. *Proceedings of the 2nd Congress of Alps-Adria Acoustics Association and 1st Congress of Acoustical Society of Croacia*, p. 203-206, 2005.
- TRUNGPA, Chögyam. *Shambhala: The Sacred Path of the Warrior*. Boston & London: Shambhala, 1988.
- VÄLIMÄKI, Vesa; LAURSON, Mikael; ERKUT, Cumhur. Commuted Waveguide Synthesis of the Clavichord. *Computer Music Journal* 27(1) (March 2003), p. 71-82, 2003.
- WESTCOTT, Wendell. *Bells and Their Music*. New York: G. P. Putnam's Sons, 1970.
- WISHART, Trevor. *On Sonic Art*. Reading (UK): Harwood Academic Publishers, 1996.
- XENAKIS, Iannis. *Formalized Music: Thought and Mathematics in Composition* (second, revised English edition, with additional material translated by Sharon Kanach. Harmonologia Series No. 6). Stuyvesant, NY: Pendragon Press, 1992.

UM JARDIM CIBERNÉTICO EM SHAMBHALA: CRIAÇÃO DE UM AMBIENTE VIRTUAL SONORO-MUSICAL MEDITATIVO AUTOMÁTICO E INFINITO, SINTETIZADO ALGORITMICAMENTE VIA COMPUTADOR

Francisco Alves de Oliveira (PIBIC/CNPq/FA/Uem), e-mail:
ra109149@uem.br

Marcus Alessi Bittencourt (Orientador), e-mail: mabittencourt@uem.br

Universidade Estadual de Maringá / Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes.

Área e subárea do conhecimento conforme tabela do [CNPq/CAPES](#): 8.03.03.03-0 Artes; Música; Composição Musical

Palavras-chave: Composição Algorítmica, Música automática, Música meditativa.

Resumo

Este artigo tem como objetivo descrever brevemente o processo de criação e desenvolvimento do projeto de pesquisa que resultou em um software de composição musical algorítmica capaz de gerar automaticamente uma peça musical infinita destinada a práticas de meditação e artes marciais como Tai Chi Chuan. A pesquisa justifica-se pela importância atual do estudo da criação musical automatizada por meio de algoritmos e pelo estudo de métodos de programação e processamento sonoro por meio de linguagens computacionais como Pure Data e RTcmix.

Introdução

Este projeto de pesquisa de iniciação científica teve como objetivo criar, por meio de um algoritmo computacional original que foi projetado e construído especialmente para este fim, uma obra musical de paisagem sonora para ser apresentada de maneira ininterrupta em espaços destinados a meditação e experiência estética. Neste sentido, a paisagem sonoro-musical criada é gerada em tempo real por meio de uma peça algorítmica de software que opera de maneira automática e ininterruptamente contínua. É interessante destacar que a fascinação da humanidade com instrumentos musicais automáticos é milenar e o interesse em procedimentos algorítmicos para criar música é ao menos centenário. Historicamente, há uma longa linhagem milenar de instrumentos-esculturas construídos para serem tocados de maneira automática pela ação de elementos atmosféricos, geralmente o vento ou a água. Há também numerosos exemplos de pesquisas de técnicas algorítmicas para geração automática de música, aplicando-se variadas técnicas como o uso de gramáticas gerativas, de algoritmos genéticos, da teoria do caos, de autômatos celulares e de redes

neurais, dentre outros métodos, além do uso de aplicativos de inteligência artificial (ver NIERHAUS, 2009).

Materiais e métodos

Para este projeto de pesquisa foi utilizado o ambiente gráfico de programação Pure Data (PUCKETTE, 1997) – que serve para processamento em tempo real de áudio e vídeo –, aliado à linguagem de programação computacional musical RTcmix (GARTON & TOPPER, 1997). Utilizou-se também de técnicas de sampling e síntese sonora (RUSS, 2004).

Resultados e Discussão

O projeto iniciou-se com discussões e pesquisas sobre quais seriam os métodos a serem utilizados para o design de uma orquestra virtual e seus instrumentos, incluindo experimentos com as técnicas de computação musical de sampling e síntese sonora. Para o projeto, foi criada uma orquestra com os seguintes instrumentos virtuais: *Qin*, eletrorimba, água, vento e insetos, *suikinkutsu*, gamelão javanês e tambores *taiko*. Os primeiros testes foram feitos com a linguagem RTcmix, que inclui em seu código um excelente algoritmo capaz de sintetizar sons de cordas beliscadas ou percutidas por meio da técnica de Karplus & Strong (KARPLUS & STRONG, 1983). Com este algoritmo, foi possível fazer ajustes precisos nos parâmetros da síntese, tais como precisão na afinação, vibratos e também a maneira como é simulada a dedilhação de uma corda (técnicas naturalmente aplicadas em instrumentos como harpa, guitarra, *qin*, *koto*). O instrumento criado para este projeto que simula uma corda dedilhada foi batizado de *Qin* (um instrumento tradicional chinês). Também foi programado um instrumento similar a uma marimba utilizando a biblioteca “PeRColate” no Pure Data, que contém algoritmos de modelagem física adaptados a partir da biblioteca The Synthesis Toolkit (STK), de Perry Cook e Gary Scavone (COOK & SCAVONE, 1999). Foram estudadas as técnicas de síntese aditiva com osciladores (FARNELL, 2010: p. 267) e de síntese granular (FARNELL, 2010: p. 305), esta segunda sendo utilizada para geração de fluxos contínuos de água e vento a partir de amostras sonoras reais. A síntese com osciladores foi utilizada para a criação de um instrumento que emulasse sons de insetos, que foram modelados a partir de uma gravação realizada pelo bolsista na Ilha de Superagui no Paraná, mas que não pôde ser utilizada pela grande quantidade de ruídos de fundo. O *Shakuhachi* foi um instrumento desenvolvido a partir de amostras de áudio provenientes de uma gravação de um instrumentista japonês, que foram recortadas em centenas de pequenos fragmentos e posteriormente indexadas, classificadas e acondicionadas em um banco de dados para serem utilizadas re-amostradas segundo as afinações e sequências definidas pelo projeto composicional. O gamelão javanês ocorreu neste projeto por termos sentido a necessidade de acrescentar ao projeto sons de sinos e gongos de altura definida, que são

instrumentos bastante idiomáticos para o objetivo musical desejado. Para isto, não foi preciso criar um modelo virtual novo, pois já havia um construído anteriormente em um outro projeto de PIBIC do Laboratório de Pesquisa e Produção Sonora da UEM (DA SILVA & BITTENCOURT, 2011). Este modelo foi adaptado para se integrar às estruturas composicionais deste projeto. O *Suikinkutsu*, ou "caverna do koto aquático", é um instrumento tradicional em jardins japoneses que consiste em um vaso enterrado virado de cabeça para baixo. Dentro deste vaso há um recipiente com água, onde ocorre gotejamentos vindos de uma fonte de água, produzindo sonoridades delicadas de altura definida que ressoam pelo dispositivo (BREWER, 2007: 229). A nossa versão foi construída a partir de amostras sonoras de gotas e água, que foram processadas por meio de uma bateria de *comb filters* afinados segundo medições frequenciais de *suikinkutsus* reais feitas por Brewer (2007). Terminando a parte da construção de instrumentos, foi feito um conjunto de tambores *taiko*, que são tambores japoneses. Estes foram programados utilizando a técnica de sampling (RUSS, 2004).

O segundo passo no projeto foi o de desenvolver um sistema musical para a composição. Para isto, foi desenvolvido um sistema de alturas definidas que foi gerado a partir do empilhamento de sequências específicas de intervalos justos a partir de uma altura inicial. As escalas resultantes são reminiscentes de escalas tradicionais orientais, mas são artificiais e não podem ser tocadas por instrumentos comuns reais. Para utilizar estas escalas, foi programado um gerador de melodias, que foi programado para caminhar pela escala vigente de maneira musical. Este gerador foi implementado por meio de cadeias de Markov (NIERHAUS, 2009: p.68), que são sistemas de escolhas estocásticas feitas a partir de uma matriz probabilística de transição. Cada estado da cadeia de Markov armazena as probabilidades de mudança para outros estados, podendo fazer com que o estado futuro seja definido pelo estado atual. Foi criado também um gerador de ritmos, que foi construído para criar em tempo real padrões rítmicos, igualmente por meio da aplicação de cadeias de Markov.

Para controlar todas estas coisas, foi implementado um centro de mensagens, que possibilita configurar os geradores de ritmo, geradores de melodia e instrumentos, através de mensagens de texto. Também foi instalado, em todos os instrumentos e geradores, um sistema de transporte de dados para que fosse possível receber e enviar dados de um objeto para outro, possibilitando que as melodias sejam direcionadas para qualquer instrumento com simples mensagens. Para que os instrumentos funcionassem automaticamente, foi configurado um conjunto de subdivisões de tempo, gerando ciclos rítmicos de variados tamanhos e com diferentes funções. Os dois primeiros ciclos foram dedicados a tocar as melodias, o terceiro ao gongo do gamelão, e o último ficou responsável por fazer gatilhar eventuais mudanças de padrão rítmico, modos de melodia, escalas e instrumentação.

Conclusões

O software criado pelo projeto no ambiente de programação Pure Data é capaz de gerar automaticamente e ininterruptamente uma obra musical segundo o tipo de expressão musical meditativa originalmente vislumbrado. A obra pode ser implantada tanto como uma instalação sonora temporária (possivelmente em um museu ou centro cultural) como na forma de um live streaming ininterrupto pela internet. No momento, é possível ouvir exemplos gravados do resultado musical produzido pelo software automático no YouTube pelo link <<http://www.marcusalessi.com/site/en/shambhalagarden>>.

Agradecimentos

Agradeço ao orientador Marcus Alessi Bittencourt por todo conhecimento compartilhado durante a pesquisa.

Referências

BREWER, Scott. Creating a virtual suikinkutsu. In: **The 13th International Conference on Auditory Display**, Montreal, Canada, p. 229-233, 2007.

COOK, Perry R. & SCAVONE, Gary P.. The Synthesis Toolkit (STK). **Proceedings, International Computer Music Conference, vol. 1999**. San Francisco: International Computer Music Association, pp. 164-166, 1999.

FARNELL, Andy. **Designing Sound**. Cambridge, MA: The MIT Press, 2010.

GARTON, Brad; TOPPER, Dave. RTcmix - Using CMIX in Real Time. **Proceedings, International Computer Music Conference, vol. 1997**. San Francisco: International Computer Music Association, pp. 224-227, 1997.

KARPLUS, Kevin; STRONG, Alex. **Digital Synthesis of Plucked-String and Drum Timbres**. Computer Music Journal, Vol. 7, No. 2 (Summer, 1983), pp. 43-55.

NIERHAUS, Gerhard. **Algorithmic Composition: Paradigms of Automated Music Generation**. Germany: Springer-Verlag/Wien, 2009.

PUCKETTE, Miller. Pure Data. **Proceedings, International Computer Music Conference, vol. 1997**. San Francisco: International Computer Music Association, pp. 224-227, 1997.

RUSS, Martin. **Sound Synthesis and Sampling**. Burlington, MA: Focal Press, 2004.

DA SILVA, Emanuel Vasconcelos Isidoro; BITTENCOURT, M. A. Construção de um Gamelão Javanês virtual no ambiente de programação visual Pure Data, executável em tempo real via computação física. In: **XX Encontro Anual de Iniciação Científica (EAIC), 2011**, Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPR), Ponta Grossa-PR, Brasil. Anais do XX EAIC. Ponta Grossa: EAIC, 2011.