



NADI - Neural Activated Digital Instrument

André Lucas Peixoto Palmeira

Mestrado em Multimédia da Universidade do Porto

Orientador: Prof. Dr. Doutor Carlos Alberto Barbosa da Cunha Mendonça
Guedes

Coorientador: Mestre George Sioros

Junho, 2013

© André Lucas Peixoto Palmeira, 2013

NADI - Neural Activated Digital Instrument

André Lucas Peixoto Palmeira

Dissertação realizada no âmbito do
Mestrado em Multimédia – Música Interativa e Design de Som

Aprovado em provas públicas pelo Júri:

Presidente: Prof. Dr. Rui Pedro Amaral Rodrigues

Vogal Externo: Prof. Dr. Fabien Gouyon (Título)

Orientador: Prof. Dr. Carlos Guedes

Co-orientador: Mestre George Sioros

Resumo

Nesta dissertação é apresentado o projeto que desenvolvi para o meu mestrado: o sistema NADI (*Neural Activated Digital Instrument*). O sistema NADI é um sistema de composição musical digital em tempo-real passível de ser controlado pelo movimento e pelos impulsos elétricos gerados na cabeça.

O NADI foi desenvolvido como um instrumento musical digital no *software* Max/Msp. Possui a capacidade de gerar eventos musicais (ex. notas) e de efetuar síntese sonora. A sua expressividade sonora é controlada pelo mapeamento do sistema específico para o interface EPOC da empresa Emotiv, capaz de efetuar leituras dos sinais gerados pelas ondas cerebrais, músculos da cabeça e olhos, assim como do movimento da cabeça.

Para responder às necessidades de criação de um sistema com estas características, e abordando as suas capacidades e limitações é apresentada investigação científica em áreas como a síntese sonora, o processamento digital de sinal, o mapeamento de interfaces e os sistemas de composição musical em tempo real através de *biofeedback*.

Abstract

In this dissertation I present the final project for my master degree: the NADI (Neural Activated Digital Instrument) system. The NADI system is a system of real-time digital music composition with the capability of being controlled by the movement and the electrical impulses generated by the human head.

NADI was developed as a digital musical instrument in the software Max/MSP. It has the capability of generating musical events (e.g. notes) and synthesize sound. Its sound expression, is controlled by specific mapping system for the EPOC interface from the company Emotiv, capable of reading the electric signals generated by the brainwaves, muscles of the head and eyes as well as the movement of the head.

To respond on the necessities of such a system and approaching its affordances and restraints, I present research in areas such as sound synthesis, digital signal processing, interface mapping and the developing of systems of real-time musical composition through biofeedback.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer às pessoa que se seguem, sem as quais não teria sido possível a concretização deste projeto:

Ao Carlos Guedes, pela sempre generosa partilha de conhecimento, e por ter sempre acreditado no projeto.

Ao meu amigo George Sioros, por me ensinar a pensar Max/Msp e por todo o apoio que disponibilizou ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus amigos João Meneses e Mário Jacinto pelo incondicional apoio na programação em Max/Msp.

Às minhas amigas Fernanda Vieira e Marisa Ferreira pelo apoio na revisão deste documento.

Aos meus amigos Hugo Branco e Rosa Alice Branco pela inspiração e motivação conceptual e pelo acesso ao interface, que foi indispensável para a construção deste projeto.

À Maria Araújo por todo o apoio e paciência.

Aos meus pais a quem tudo devo e que nunca duvidaram das minhas capacidades.

Índice

Resumo.....	iv
Abstract.....	v
Agradecimentos.....	vi
Índice.....	vii
Lista de figuras.....	viii
Glossário de termos e siglas.....	ix
1. Introdução.....	1
2. Revisão da literatura.....	4
2.1. Breve história do <i>biofeedback</i> na composição musical.....	4
2.2. Síntese sonora e técnicas e tratamento musical.....	8
2.2.1. Os módulos.....	9
2.2.2. Gerador de sinal.....	9
2.2.3. Modificadores.....	10
2.2.3.1. Filtro.....	10
2.2.3.2. Amplificador.....	10
2.2.3.3. Processadores de efeitos.....	11
2.2.4. Moduladores.....	12
2.2.4.1. LFO.....	12
2.2.4.2. Gerador de envolvimento.....	12
2.2.4.3. Arpeggiator.....	12
2.2.5. Controladores e interfaces.....	13
2.3. Síntese sonora.....	14
2.3.1. Síntese aditiva.....	14
2.3.2. Síntese subtractiva.....	14
2.3.3. Síntese FM.....	14
2.3.4. Síntese granular.....	15
2.3.5. Síntese por modelos físicos (Karplus-Strong).....	16
2.4. Modulação de parâmetros de síntese aplicadas à composição musical.....	16
2.4.1. <i>Cellular Automata</i>	17
3. O sistema NADI.....	18
3.1. Análise do interface.....	20
3.2. NADI – construção de um instrumento musical.....	23
3.3. Descrição dos elementos e dos sistemas associados.....	26
3.3.1. FM1 & FM2.....	27
3.3.2. FM3 & FM4.....	28

3.3.3.	ADD1 & ADD2.....	29
3.3.4.	Karplus-Strong.....	30
3.3.5.	Kick.....	32
3.3.6.	Hat.....	33
3.3.7.	Clap.....	34
3.3.8.	Snare.....	35
3.3.9.	LFO.....	36
3.3.10.	Reverb.....	36
3.3.11.	Granular.....	37
3.3.12.	Mistura.....	37
3.3.13.	Sequenciador de dezasseis tempos (Sequencer).....	38
3.3.14.	Geração de notas.....	49
3.3.15.	Celullar Automata.....	40
3.3.16.	Sistemas de monitorização e de mapeamento.....	40
4.	Apresentação e discussão de resultados.....	42
4.1.	Análise dos sistemas.....	43
4.1.1.	Motor de áudio.....	43
4.1.2.	Criação musical.....	43
4.1.3.	GUI e mapeamento do interface.....	44
5.	Conclusão.....	46
6.	Referências bibliográficas.....	49
	Anexo I.....	53

Lista de figuras

Figura 1 – Interface da empresa Emotiv, EPOC.....	Pag.20
Figura 2 – Janela do SDK do EPOC para monitorização da Expressiv Suite.....	Pag.21
Figura 3 – Janela do SDK do EPOC para monitorização da Affectiv Suite.....	Pag.22
Figura 4 – Diagrama de blocos do modelo inicial criado para o sistema NADI....	Pag.24
Figura 5 – Página principal do GUI da aplicação NADI.....	Pag.26
Figura 6 – Elementos de síntese FM1 e FM2.....	Pag.27
Figura 7 – Patch em Max/Msp dos elementos FM1 e FM2.....	Pag.27
Figura 8 – Elementos de síntese FM1 e FM2.....	Pag.28
Figura 9 – Patch em Max/Msp dos elementos FM3 e FM4.....	Pag.28
Figura 10 – Elementos de síntese ADD1 e ADD2.....	Pag.29
Figura 11 – Patch em Max/Msp dos elementos ADD1 e ADD2.....	Pag.29
Figura 12 – Elementos de síntese por modelos físicos, Karplus-Strong.....	Pag.30
Figura 13 – Patch em Max/Msp do elemento Karplus-Strong.....	Pag.31
Figura 14 – Patch em Max/Msp do elemento de emulação de bombo, Kick.....	Pag.32
Figura 15 – Patch em Max/Msp do elemento de emulação de prato, Hat.....	Pag.33
Figura 16 – Patch em Max/Msp do elemento de emulação de palma, Clap.....	Pag.34
Figura 17 – Patch em Max/Msp do elemento de emulação de tarola, Snare.....	Pag.35
Figura 18 - LFO ou oscilador de baixa frequência para controlo de parâmetros do NADI.....	Pag.36
Figura 19 - Elementos de processamento de sinal, Reverb1 e Reverb2.....	Pag.36
Figura 20 – Elementos de processamento de sinal, Granular.....	Pag.37
Figura 21 – Parte do sistema de mistura do NADI.....	Pag.37
Figura 22 – Dois sequenciadores de dezasseis passos para os elementos FM1 e FM2.....	Pag.38
Figura 23 – Arpeggiator para dois elementos.....	Pag.39
Figura 24 – Pormenor do sistema de geração de ritmo por <i>Cellular Automata</i>	Pag.40
Figura 25 – Pagina de monitorização e tratamento da informação proveniente do interface.....	Pag.41
Figura 26 – Exemplo de mapeamento do NADI.....	Pag.42

Glossário de termos e siglas

BCI (*Brain Computer interface*) – Interface que efetua a leitura e análise das ondas cerebrais.

Biofeedback – refere-se ao processo de apresentação a um organismo, através da utilização de entradas de canais sensoriais, de informação acerca do estado ou alterações de um processo biológico desse mesmo organismo, isto, com o propósito de se obter algum tipo de medida de regulação ou controlo da performance de esse mesmo processo, ou simplesmente com o simples propósito de exploração interna e aumento da autoconsciência.

EEG (*electroencephalography*) (electroencefalografia) – Registo das pequenas correntes elétricas desenvolvidas no cérebro.

EMG (*electromyography*) (electromiografia) – Registo das atividades elétricas associadas às contrações musculares.

GUI (*graphic user interface*) – Sistema gráfico de comunicação de uma aplicação de *software* com o utilizador onde este interage com o sistema normalmente através da visualização de informação, e posterior interação através de, por exemplo, um teclado ou um rato.

EOG (*electro-oculography*) (eletro-oculografia) – Gravação dos movimentos oculares e da posição dos olhos através da captação da diferença de potencial elétrico entre os dois elétrodos colocados na pele de ambos os lados do olho.

MIDI (*musical instrument digital interface*) – Protocolo de comunicação digital desenvolvido para a comunicação entre instrumentos musicais eletrónicos e computadores.

NADI (*Neural Activated Digital Instrument*) – Instrumento musical digital com a capacidade de controlo através da utilização de ondas cerebrais.

1. Introdução

Este projeto enquadra-se no final do ciclo de estudos do mestrado em multimédia no perfil de música interativa e *design* de som da Faculdade de Engenharia do Porto.

Após um ano de estudo focado nas áreas da síntese sonora, tratamento de dados, mapeamento e análise de interfaces, foram reunidas as condições para o desenvolvimento de um sistema de controlo e gênese sonora que agrupasse todas estas valências acumuladas.

O uso dos sinais biológicos e das ondas cerebrais para a criação musical prende-se com o facto de a capacidade de análise do pensamento e dos estados emocionais do intérprete permitir algum distanciamento motor deste na criação musical. Este conjunto de fatores permite uma abordagem à criação musical absolutamente inovadora.

A monitorização da informação gerada pelo funcionamento do corpo humano, como por exemplo a respiração, o batimento cardíaco, a atividade cerebral ou quaisquer outros sinais biológicos é chamada de *biofeedback*. O termo *biofeedback* refere-se ao processo de apresentação a um organismo, através de da utilização de entradas de canais sensoriais, de informação acerca do estado ou alterações de um processo biológico desse mesmo organismo, isto, com o propósito de se obter algum tipo de medida de regulação ou controlo da performance de esse mesmo processo, ou simplesmente com o simples propósito de exploração interna e aumento da autoconsciência (Rosenboom, 1990). O electroencefalograma (EEG), a electromiografia (EMG) ou a electrooculografia (EOG) são exemplos de sinais biológicos utilizados como *biofeedback*.

A execução de um projeto com estas características permitiu a construção de raiz de um sistema de composição musical digital em tempo real, desenvolvendo e consolidando aptidões na área da síntese sonora, do processamento digital de sinal, assim como das técnicas algorítmicas, do tratamento de dados e do mapeamento de informação. A aplicação integrada destas técnicas a um interface desta natureza permitiu a utilização da análise do comportamento da atividade cerebral e dos restantes impulsos elétricos gerados pela cabeça, tendo em vista a sua utilidade aplicada a interfaces digitais e a aplicações de controlo remoto.

Espera-se dar à sociedade provas imediatas da capacidade de utilização deste tipo de interfaces por controlo remoto, no presente caso através da manipulação de um instrumento musical.

A criação de um novo instrumento digital musical com mapeamento dedicado a este tipo de interface permitirá eventualmente a pessoas com incapacidades motoras uma participação musical mais ativa e inovadora.

Assim, impõe-se o axioma de que a exploração do NADI desenvolverá novos campos na criação e performance musical.

Este projeto tem como objetivo principal a criação de um sistema de composição musical em tempo real controlado pelas ondas cerebrais, expressão facial e movimento da cabeça através da programação de uma aplicação com várias capacidades de mapeamento de todo o interface.

Pretende-se ainda que o sistema seja capaz de oferecer expressividade e versatilidade sonora.

Foi utilizado o *software* Max/Msp da empresa Cycling'74¹ para o desenvolvimento da aplicação deste projeto, sendo esta capaz de gerar som através de técnicas de síntese sonora e processamento digital de sinal, gerar eventos musicais e possuir um sistema de mapeamento dedicado ao interface.

A investigação e o desenvolvimento do projeto têm como diretivas principais o desenvolvimento da síntese sonora e motor de áudio assim como a do mapeamento do interface. O controlo dos parâmetros do motor de áudio, de síntese e dos eventos musicais estiveram sempre sujeitos aos resultados obtidos na concretização das diretivas principais.

A metodologia aplicada durante este projeto foi da investigação ação na qual o investigador é ativo, reflexivo e participante sendo o trabalho sujeito a uma observação, reflexão e questionamento sistemático ao longo do desenvolvimento das respetivas etapas.

Em cada etapa foi realizado um diagnóstico e um planeamento da ação, sendo que após a sua concretização foi efetuada a observação, a análise e a avaliação. Este processo repetiu-se até à obtenção de uma avaliação satisfatória prosseguindo-se então para uma nova etapa.

Este documento está organizado de forma a possibilitar a compreensão da metodologia utilizada na investigação do projeto assim como do seu desenvolvimento.

¹ <http://cycling74.com/>; consultado a 20-06-2013

Para isso, após a introdução, objetivos e descrição do documento, desenvolve-se a apresentação do estudo do estado da arte, com uma revisão teórica dos conceitos mais importantes relacionados com as matérias em estudo neste trabalho. De seguida é descrito o desenvolvimento do projeto, assim como cada um dos seus elementos, terminando-se com a discussão dos resultados e respetivas conclusões.

Esta dissertação está dividida em quatro capítulos, sendo que no primeiro se concretiza a introdução do nosso trabalho. O segundo capítulo apresenta a revisão da literatura onde se contextualiza-se historicamente o *biofeedback* na composição musical e é explicada a síntese sonora bem como técnicas de tratamento musical. O capítulo três é dedicado ao sistema NADI, apresentando-se a descrição de cada um dos seus elementos e sistemas, sendo por fim expostos e discutidos os resultados obtidos na avaliação do sistema. No capítulo quatro é apresentado o desenvolvimento futuro e concluímos o nosso trabalho.

2. Revisão de literatura

2.1. Breve história do *biofeedback* na composição musical

Durante a evolução do *biofeedback*, encontram-se exemplos de utilização de diferentes tipos de sinais biológicos assim como, de sistemas de composição muito diferentes entre si, os quais são de seguida sucintamente apresentados assim como são apresentados trabalhos relacionados com o interface utilizado neste projeto.

O início dos *Brain-Computer Interfaces* (BCI) está definitivamente associado ao nome de Hans Berger que em 1929 criou um aparelho capaz de gravar potencial elétrico gerado pela atividade cerebral, mais tarde conhecido por eletroencefalograma (Vallabhaneni et al. 2005).

Em 1934, os fisiologistas E.D. Adrian e B.H.C. Mathews descrevem a experiência de tradução do eletroencefalograma para sinais de áudio. (Rosenboom, 1997)

O primeiro BCI foi descrito pelo Dr. Grey Walter em 1964 que efetuou ligações de eléctrodos diretamente ao córtex motor do paciente, pedindo-lhe que premisse um botão com o intuito de fazer avançar os slides de um projetor, tendo sido simultaneamente gravada a atividade cerebral relevante. Posteriormente, o Dr. Grey ligou o sistema de projeção de maneira a avançar os slides quando o paciente manifestasse uma atividade cerebral que indicasse que o queria fazer (Graiman et al. 2010).

Em 1965, é registada a primeira peça musical utilizando electroencefalogramas (EEG) a “*Music for Solo Performer*” por Alvin Lucier. Nesta performance, Alvin colocou eléctrodos na sua cabeça, amplificou o sinal e reproduziu-o através de altifalantes de modo a excitar as membranas de instrumentos de percussão (Miranda, 2006c).

Ainda nos anos sessenta, Richard Teitelbaum em parceria com Robert Moog criou um sistema de controlo de um sintetizador de som utilizando sinais biológicos, neste caso EEG e eletrocardiograma (EKG). Para o usuário, o processo de controlo deste sistema assemelhava-se às técnicas utilizadas na meditação, sendo necessária uma combinação equilibrada entre o relaxamento e a atenção, o desapego e a consciência. Richard utilizou a base deste sistema para criar variadas composições nos anos seguintes, como por exemplo a “*In Tune*” em 1968, na qual são utilizados os batimentos

cardíacos, a respiração e as ondas cerebrais do tipo alfa de um *performer* de modo a disparar e modular o sintetizador. Em 1968, utilizando uma variação deste sistema, apresenta a “*Organ Music*” com a participação de membros do grupo *Musica Elettronica Viva* (Teitelbaum, 2006).

David Rosenboom, em 1970, deu um importante contributo na evolução da utilização de sinais biológicos para a composição musical criando uma performance chamada “*Ecology of the Skin*” que envolvia a leitura de *biofeedback* das ondas cerebrais e batimentos cardíacos dos *performers* e da audiência traduzidas para uma textura musical. Pouco depois, cria o *Laboratory of Experimental Aesthetics* na York University (Vallabhaneni et al. 2005). Em 1976 publica trabalhos como o “*Biofeedback and the Arts*” e a peça “*On Being Invisible*” em que utiliza a suas próprias ondas cerebrais para criar, em suas próprias palavras, formas musicais auto-organizadas. O seu trabalho trouxe uma nova e interessante dimensão à transformação de eventos cognitivos em eventos sonoros (Rosenboom, 1997).

Na mesma década, Jaques Vidal dá um passo muito importante na criação de um sistema completo de BCI tendo publicado os seus resultados em 1973 e 1977 (Vidal 1973, 1977).

Posteriormente, a investigação na área foi evoluindo com trabalhos desenvolvidos pela agência de investigação do pentágono (DARPA) assim como pela investigação do doutor Jonathan R. Wolpaw, Nils Birnbaumer e seus colegas. A maior parte desta investigação foi dedicada a sistemas de controlo remoto para computadores, robótica ou próstéticos, porém sem orientação artística ou musical (Wolpaw et al. 2000, 2002).

Em 1992, Benjamin Knapp e Hugh Lusted desenvolveram o BioMuse, um biocontrolador de oito canais que analisava o movimento dos músculos eletromiografia (EMG)², dos olhos electrooculografia (EOG)³, coração (EKG) e ondas cerebrais (EEG) utilizando elétrodos não invasivos (Tanaka, 1993).

Em 1988, Steve Mann cria o laboratório EyeTap Personal Imaging Lab, onde em 2003, se inicia a investigação de projetos relacionados com as ondas cerebrais e a criação musical, dos quais se destaca o trabalho de James Fung “*Regenerative Brain Wave Music Project*”, o qual explora novos interfaces fisiológicos para o controlo de instrumentos musicais.⁴

² EMG (Electromiografia) – Monitorização dos sinais eléctricos provocados pelos músculos

³ EOG (electrooculografia) - - Monitorização dos sinais eléctricos provocados pelos olhos

⁴ <http://www.eyetap.org/>, consultada a 28-06-2013

O Eduardo Reck Miranda, da Universidade de Plymouth, cujo longo percurso na investigação tem um papel fundamental no desenvolvimento de sistemas desta área. Nesta universidade foram criados sistemas de composição musical através da análise e interpretação de dados obtidos por EEGs. Para estes sistemas foi criado um interface de raiz que, apesar de ser muito eficaz na leitura dos sinais pretendidos, possuía a desvantagem de não ser *wireless*, não permitindo assim grande mobilidade ao usuário. Num desses sistemas, é possível ao usuário premir botões de um ecrã, dirigindo a sua atenção para eles, controlando deste modo as intensidades dos parâmetros através da intensidade com que é essa atenção é dirigida. Este sistema, através da análise de EEG, tem também a capacidade de controlar um piano remotamente, o que permite alterar o tipo de composição e seus os parâmetros consoante o estado emocional do usuário (Miranda et al. 2005, 2006a, 2006b, 2006c).

Em 2004, Adam Overton, no âmbito do seu projeto *Sitting.Breathing.Beating.[Not]Thinking*⁵, desenvolve um sistema de composição e síntese sonora recorrendo ao *software* Supercollider e ao auxílio de um interface capaz de efetuar leituras de EEG e de EKG assim como dos níveis de respiração dedicado ao projeto.

Daito Manabe, em meados do ano 2008, inicia experiências com estímulos elétricos da face humana, utilizando-os como fonte de criação sonora assim como utiliza também fontes sonoras para a estimulação muscular facial.

Em 2011, Claudia Robles Angel apresenta uma publicação na qual descreve dois sistemas de composição audiovisual através da interpretação de sinais de *biofeedback* recorrendo ao programa Max/Msp (Angel, 2011).

A comercialização do interface EPOC abriu novas possibilidades no campo da composição e performance musical. Este interface é inovador em relação a outros sistemas de leitura de *biofeedback* existentes, uma vez que possui uma grande usabilidade por ser *wireless* e catorze canais de captação dos impulsos elétricos da cabeça com algoritmos dedicados à interpretação desses sinais. É ainda detentor de um giroscópio de dois eixos. Dada a novidade do interface, ainda não existem muitos projetos musicais que utilizem esta tecnologia, contudo são de referir os que atualmente se destacam: o MindSynth do MindEnsemble⁶, o SubConch⁷, a dissertação de mestrado

⁵ <http://archive.org/details/Sitting.Breathing.Beating.NotThinking>, consultado a 28-06-2013

⁶ <https://www.facebook.com/pages/MiND-Ensemble-Music-in-Neural-Dimensions/158046377587504?sk=info>, consultado a 13-06-2013

⁷ <http://www.subconch.net/>, consultado a 13-02-2013

do Dimitri Paile para o Media Lab Helsinki da Aalto University, School of Art and Design⁸, e muito recentemente o “Mindtunes”⁹, trabalho de Julien Castete e DJ Fresh, patrocinado pela marca Smirnoff, no qual juntam um grupo de pessoas com incapacidades motoras com o intuito de criar um tema em conjunto, utilizando igualmente o *software* Max/Msp.

Dos projetos anteriormente referidos, o que talvez mais se identifique com o que aqui é proposto é o do *MindSynth*. Este, através da aplicação controladora do interface ou *software development kit* (SDK) fornecido pela empresa responsável pela sua criação, a Emotiv, faz um mapeamento bastante eficaz para um sintetizador criado em Max/Msp, pese embora o interesse desta abordagem, esta apresenta-se um pouco limitada na utilização de diferentes técnicas de síntese, possuindo um sistema muito diferente de composição musical do trabalho aqui apresentado.

O projeto aqui apresentado procura responder às necessidades primárias de composição musical em tempo real oferecendo simultaneamente um motor de áudio com versatilidade sonora e expressividade tímbrica. Este projeto possui como características particulares a incidência na utilização de diferentes técnicas de síntese sonora para a obtenção de uma maior versatilidade de resultados e uma abordagem à composição musical com métodos bastante diferentes dos projetos que foram antes apresentados. O NADI possui vários elementos com capacidades de criação sonora muito diferentes, implementados num único sistema. Estes fatores, aliados ao dedicado e completo mapeamento do sistema para o interface, fazem do NADI um projeto singular com a capacidade de abrir novas possibilidades de estudo tanto a nível científico como artístico.

⁸ <http://www.youtube.com/watch?v=xYfw7QTZC4g>, consultado a 13-06-2013

⁹ <http://www.youtube.com/watch?v=PgfxKZiSCDQ>, <http://www.youtube.com/watch?v=PgfxKZiSCDQ>, consultados a 13-06-2013

2.2 Síntese sonora e tratamento musical

A síntese é uma operação que consiste em ir do simples ao complexo, ou ainda, a formação de um composto a partir de elementos mais simples¹⁰, isto é, elementos simples conjugam-se para dar origem a um todo com novas capacidades e possibilidades. Tendo isto em conta, podemos inferir que a síntese sonora consiste no processo de utilização de elementos simples de som para a criação de sons complexos.

Rob Papan define o sintetizador de som mais comum como sendo possuidor de quatro módulos principais: o gerador de sinal ou oscilador, o filtro, o amplificador e os moduladores. Cria este modelo com o objetivo de explicar de forma simples o funcionamento de um sintetizador subtrativo, o qual possui características particulares que serão explicadas detalhadamente mais tarde neste trabalho (Papan, 2008).

Assim sendo, para a análise deste projeto e para uma melhor explicação dos conceitos e técnicas aplicadas neste sistema, este modelo foi adaptado e simplificado para três elementos. O sistema aqui é apenas baseado no modelo de Rob Papan, tendo-se fundido duas das quatro categorias que o mesmo apresenta; o filtro e o amplificador fundem-se numa nova categoria a que chamaremos de modificadores. E temos uma nova categoria a que chamaremos de controladores:

- o gerador de sinal, que como o próprio nome indica é o módulo no qual é criado o sinal inicial e onde o processo de criação sonora começa, normalmente, a partir de uma forma de onda básica (ex. sinusoidal, dente de serra, triangular, quadrada, etc...);
- os modificadores, módulos que vão alterar as características ou comportamento do sinal (filtros, amplificadores, processadores de efeitos);
- os moduladores, elementos que manipulam ou controlam de alguma forma os parâmetros dos outros elementos (teclado, LFO¹¹, matrizes de conexão, interfaces, etc...).
- os controladores, que são normalmente objetos que têm como função controlar outros parâmetros de um sintetizador, como por exemplo os teclados, os botões, interfaces, etc...

¹⁰ Extraído da infopedia Enciclopédia e dicionários Porto Editora, <http://www.infopedia.pt/lingua-portuguesa/s%C3%ADntese>, consultado a 26/06/2013

¹¹ LFO (*Low Frequency Oscillator*) – Oscilador de baixa frequência ou gerador de sinal com frequências de valores reduzidos normalmente utilizado para o controlo de outros parâmetros de síntese.

As características e possibilidades de cada sintetizador de som dependem das características individuais de cada um destes módulos e da forma como estes comunicam entre si, de modo a que os mesmos módulos acoplados de forma diferente, ou dois sintetizadores com a mesma arquitetura mas com módulos de características diferentes, podem dar origem a resultados completamente distintos.

Neste sentido, no ponto 2.1 passo a explicar as características e o funcionamento dos módulos necessários para a compreensão deste projeto. No ponto 2.2 é descrita a síntese sonora e as suas técnicas que utilizam os módulos descritos no ponto anterior.

São primeiramente descritos os módulos de síntese e só depois as suas técnicas. Havendo um conhecimento claro dos módulos responsáveis pelas operações nas técnicas de síntese, e sendo estas compostas pela combinação desses módulos, permite-se assim uma melhor compreensão dos procedimentos utilizados nas técnicas de síntese.

2.2.1 Os Módulos

2.2.2.1 Gerador de sinal

O gerador de sinal é o módulo de onde parte a construção sonora, os quais existem em dois tipos: formas de onda ou aleatórios. As formas de onda, tipicamente, têm o seu nome dado pelo desenho da sua onda: a sinusoidal, a triangular, o pulso, a quadrada e a dente de serra, são as mais comuns. Estas formas de onda são fáceis de descrever matematicamente e de serem reproduzidas electronicamente. Os geradores de sinal aleatórios produzem ruído, que contém uma mistura constante de todas as frequências. Um oscilador normalmente gera formas de onda contínuas produzindo um sinal de saída contínuo, sendo necessário utilizar um modificador para alterar o seu timbre ou para aplicar uma envolvente ao som (Russ, 1996).

Este módulo usualmente possui duas características ou parâmetros principais que são o tipo de sinal e a frequência a que é reproduzida esse sinal. Alguns possuem ainda controlo de direção dessa reprodução como acontece em alguns sintetizadores granulares ou baseados em amostragens, assim como controlo da fase de onda, isto é, qual a posição inicial de reprodução do sinal utilizado, no início da sua reprodução.

2.2.3 Modificadores

2.2.3.1 Filtro

O filtro é um módulo fundamental em particular para a síntese subtrativa ainda que utilizado em quase todas as formas de síntese. O filtro pode ser literalmente uma qualquer operação a um sinal, embora o seu uso mais comum é na amplificação ou atenuação de uma gama de frequências. Existem vários tipos diferentes de filtros, cada um com a sua curva particular de resposta em frequência. Os filtros com as curvas de resposta em frequência mais comuns são o passa-baixo (só deixa passar as frequências abaixo da frequência de corte), o passa-alto (só deixa passar as frequências acima da frequência de corte), o passa-banda (só deixa passar frequências à volta da frequência de escolhida), o rejeita-banda ou *notch* (não deixa passar frequências à volta da frequência de escolhida).

Os filtros, na sua resposta em frequência possuem curvas com inclinações diferentes, normalmente definidas por dB (decibel) por banda de frequência e em alguns tipos de filtro pela largura da banda ou fator Q. Uma definição intuitiva do factor Q é que representa o grau de “ressonância” dentro de um filtro passa banda. Quando o Q é alto, como o é na zona mais estreita no interior da curva, a resposta em frequência é acentuadamente focada á volta de um pico (ressoante) de frequência (Roads, 1996).

2.2.3.2 Amplificador

O amplificador é responsável por controlar a amplitude do sinal. A amplitude de sinal num sintetizador necessita ser controlada por duas razões. Primeiro, pois é necessário amplificar o sinal depois de sair de um filtro, mas mais importante é a necessidade de controlar o volume, o que só é possível mediante a utilização de um amplificador. Não se encontra controlo de panorâmica¹² em todos os sintetizadores (normalmente apenas em sistemas estereofónicos¹³) e muitos apenas terão o volume como parâmetro de controlo (Papen, 2008).

¹² Relação entre o sinal direito e esquerdo num sinal estereofónico

¹³ Norma de sistema de reprodução de áudio na qual são utilizados dois sinais de áudio para dois altifalantes, criando uma ilusão ao ouvinte da imersão num espaço acústico.

2.2.3.3 Processadores de efeitos

Os sintetizadores digitais incluem muitas vezes efeitos. Existem duas vantagens num sintetizador possuir uma unidade de efeitos incluída no seu sistema. Primeiro, os efeitos podem fazer parte do som, o que significa que além de serem seleccionados automaticamente quando um som é escolhido também os parâmetros utilizados no sintetizador podem ser utilizados para controlar os efeitos. Segundo a unidade de efeitos encontrar-se dentro do sistema digital e não ser uma unidade exterior, implica que o sinal permanecerá digital, afectando menos a qualidade do som (Russ, 1996).

Os efeitos são normalmente acoplados aos sintetizadores nos últimos estágios do processo de síntese. Estes são responsáveis por transformar o sinal de variadas formas. Um dos mais antigos efeitos é a utilização de um pedaço de amostragem de um som em ciclo para produzir um eco ou *delay*, que pode ser implementado através da utilização de uma memória ou, para *delays* mais longos, uma unidade de disco rígido. Se o período do *delay* for mudado dinamicamente de 0 para mais ou menos 10ms, o resultado é o efeito chamado de *flanging*, onde o resultado é o de um filtro *notch* a percorrer o espectro de áudio. Outro efeito relacionado também com *delays* é o *reverb* ou efeito de reverberação, que é utilizado para simular um ambiente acústico. A reverberação é composta por várias reflexões distintas de um som, seguidas da reverberação propriamente dita, que é causada pelo conjunto das múltiplas reflexões sonoras. As primeiras reflexões são providenciadas através de pequenos delays curtos, mas a reverberação em si é mais difícil. Uma estrutura recursiva é a escolha natural para uma resposta em decaimento, embora uma recursividade simples soa artificial. O problema é que, em um espaço acústico real, os fenómenos causados pelo choque das ondas causa grandes mudanças na resposta em frequência de cada reflexão. Este efeito consegue ser simulado dentro unidade de reverberação através da adição de secções de filtros com a resposta correspondente (Watkinson, 2001)

Existe ainda uma miríade de outros efeitos aplicados à síntese sonora como a distorção, a compressão e muitos outros resultantes também da combinação de vários efeitos.

2.2.4 Moduladores

2.2.4.1 LFO

Os LFO's são formas de onda de muito baixa frequência utilizados habitualmente para controlar parâmetros de síntese, sendo a sua mais comum utilização na amplitude (efeito também chamado de *tremolo*) e na frequência (efeito chamado de *vibrato*). O que este módulo faz é adicionar mudanças constantes ao parâmetro a que está mapeado. (ex. frequência de corte de um filtro, valor de ataque de um gerador de envolvente, etc...) (Papen, 2008).

2.2.4.2 Gerador de envolvente

O gerador de envolvente é um módulo de modulação que confere mudanças dinâmicas a um parâmetro do sistema. Este cria mudanças no tempo ao parâmetro a que for mapeado. O exemplo mais claro deste fato é a sua utilização para modular o amplificador. Utilizando um gerador de envolvente, pode-se construir um som com um ataque lento, muito bom para a criação de sons do tipo colchão ou *pad*, por outro lado também é possível criar sons de síntese percussivos com um gerador de envolvente.

Existem geradores de envolvente que podem possuir um ou vários estágios capazes de introduzir rampas variáveis de variações temporais em parâmetros do sistema. O tipo de gerador de envolvente mais comum é o ADSR (*attack, decay, sustain, release*) que possui quatro estágios. O gerador de envolvente efectua um movimento no tempo de 0% até os 100% de nível, retornando depois novamente aos 0%, controlando-se este comportamento utilizando os parâmetros de *attack, decay, sustain e release* (Papen, 2008)

2.2.4.3 Arpeggiator

O arpejo, do italiano *arpeggio* significa toque de harpa e define-se como a execução alternada das notas musicais de um acorde.¹⁴ Este sistema de reprodução de notas foi introduzido em muitos instrumentos eletrónicos a partir do final da década de setenta

¹⁴ Extraído da infopedia Enciclopédia e dicionário Porto Editora, <http://www.infopedia.pt/lingua-portuguesa/arpejo>, consultado a 26/06/2013

sendo alguns dos mais conhecidos o Roland Jupiter 4, 6 e 8, o Oberheim OB-8 e os Korg MonoPoly e Polysix.

2.2.5 Controladores e interfaces

Os controladores são ferramentas que permitem o controlo de parâmetros de síntese através de algum tipo de interação. Existem uma infinidade de controladores diferentes, com complexidades diferentes e alguns são possuidores de especificidades únicas.

Como controladores mais convencionais temos os botões, os botões de controlo rotativo ou *knobs* e os *faders*. Ainda na categoria dos controladores mais convencionais temos os teclados de escrita e os teclados musicais. Existem também controladores que agrupam alguns destes controladores mais simples em unidades completas com configurações diferentes procurando obter capacidades diferentes de controlo do sistema a que foram ligados.

Os interfaces, são um programa ou equipamento que permite conectar duas unidades de *hardware* ou *software* para que estas possam ser controladas em conjunto ou comuniquem uma com a outra.¹⁵ Pela sua capacidade de controlar parâmetros de um sistema, estão agrupados nos controladores, existindo muitos interfaces que são controladores não convencionais. Existem interfaces muito diferentes, com capacidades e funcionalidades completamente dispares entre si. Através de sistemas como por exemplo o Arduino¹⁶ e o *software* Max/Msp é possível criar interfaces em que se utilizam informação a partir de diferentes fontes como por exemplo o movimento do corpo humano, os seus sinais biológicos, ou recolher informação de um espaço (ex. temperatura, humidade, luminosidade, etc...).

O interface utilizado neste trabalho é o Emotiv Eloc, que permite efetuar a análise de determinados sinais biológicos, assim como o movimento da cabeça. Este interface é uma peça de *hardware* que comunica com um computador através de um *software* nativo e um sistema USB wireless.

¹⁵ Traduzido e adaptado por mim de Oxford Dictionaries:
<http://oxforddictionaries.com/definition/english/interface> 28/07/2013

¹⁶ <http://www.arduino.cc/>

2.3 Síntese sonora

Dependendo da arquitetura ou modelo de base de um sintetizador é possível obter incontáveis resultados sonoros com diferentes capacidades de comportamento e de controlo.

Passo assim a descrever as técnicas de síntese utilizadas neste projeto.

2.3.2 Síntese aditiva

À adição de formas de onda sinusoidais chamamos de síntese aditiva, e segundo o teorema de Fourier, qualquer som complexo pode ser reproduzido por ondas sinusoidais, desde que cada uma destas tenha uma relação de frequência e amplitude igual à do espectro do sinal original (Roads, 1996). Visto isto, em teoria, é possível criar qualquer tipo de som com esta técnica. Como exemplo de um instrumento musical que utiliza técnicas de síntese aditiva temos o caso do órgão, que possui vários registos que podem ser adicionados ao som principal do instrumento.

2.3.3 Síntese subtrativa

A síntese subtrativa é das formas mais comuns de síntese nos dias de hoje e utiliza a ideia generalizada da utilização de um modelo de síntese com uma fonte sonora e um modificador. A fonte sonora produz um som com todo o conteúdo harmónico necessário enquanto o modificador vai filtrar os harmónicos não desejados e moldar a envolvente do volume de som. O filtro “subtrai” os harmónicos indesejados, daí o nome de síntese subtrativa (Russ, 1996).

2.3.4 Síntese FM

Segundo Roads (1996), a síntese FM foi criada por John Chowning quando decidiu variar o valor de frequência de um oscilador através de um outro, tendo obtido resultados surpreendentes. Chowning descobre que com duas ondas sinusoidais é possível gerar uma grande quantidade de sons, uma vez que de outra forma seriam

necessárias ferramentas mais poderosas de síntese do que as que ele usara. Para construir um som com, por exemplo 50 harmônicos, seria necessário utilizar 50 osciladores, tendo por este método apenas utilizado dois osciladores para conseguir obter um resultado muito similar.

Ainda na senda do mesmo autor, a síntese FM descreve-se como possuindo um gerador de sinal também chamado de *carrier* que posteriormente é modificado em frequência por outro gerador de sinal apelidado de modulador ou *modulator*. A amplitude deste *modulator* define a quantidade de variação em frequência sofrida pelo *carrier*. Este método de síntese, quando aplicado a ondas sinusoidais, resulta na criação de uma série de harmônicos suplementares em torno da frequência do *carrier*. Estes são definidos em função da relação entre a frequência do sinal do *carrier* e do *modulator*, sendo normalmente representada por C:M. Quando esta relação é uma relação simples ou de números inteiros obtemos um sinal com características harmônicas (sinal com componentes espectrais múltiplas de uma frequência principal), contudo quando não o é, o resultado é um sinal com características não harmônicas (sinal sem correspondência espectral entre os seus elementos, normalmente associado a ruído).

Um dos métodos de controlo da largura de banda dos harmônicos gerados através desta forma de síntese, é a partir do chamado índice de modulação, que é representado pela fórmula: $I=D/M$.

Sendo I o índice de modulação, o D a quantidade de variação em frequência introduzida no sinal do *carrier* e o M a frequência do *modulator* (Roads, 1996).

2.3.5 Síntese granular

A síntese granular gera sons a partir de pequenos segmentos denominados de grãos. Estes grãos, usualmente, possuem uma dimensão extremamente reduzida, e são modulados em amplitude para que ao serem reproduzidos comecem e acabem sempre com uma amplitude de sinal igual a zero. Assim, evitam-se descontinuidades no sinal sonoro, o que provocaria ruído em forma de inúmeros cliques indesejáveis. A este processo de modulação no qual se aplica uma onda de envolvimento em amplitude, na síntese granular, dá-se o nome de *windowing*, e são várias as formas das ondas que se podem aplicar para modular o sinal. Os parâmetros mais comuns neste tipo de síntese são a forma de onda escolhida para criar os grãos, o tamanho ou a variação do tamanho

desses grãos, o tipo de forma de onda para o *windowing*, a velocidade ou variação de velocidade de reprodução dos grãos e ainda a direção, variação da direção ou ordem de reprodução dos grãos (Roads, 1996).

2.3.6 Síntese por modelos físicos (Karplus-Strong)

A modelagem física é um tipo de síntese sonora que simula os resultados e os comportamentos obtidos com a utilização de instrumentos acústicos sendo normalmente os parâmetros de controlo desta síntese associados a características acústicas dos mesmos, como por exemplo o tipo de caixa-de-ressonância e o seu tamanho, o tipo de corda utilizado, ou o tipo de excitação dessa corda, etc...

No caso da técnica *Karplus-Strong* desenvolvida por Karplus e Strong, em 1983, que consiste na simulação de uma corda estimulada por um plectro. Este modelo começa por utilizar uma mudança brusca na amplitude de um som ou, simplesmente, um pequeno impulso de ruído. Este impulso será reproduzido através de um *delay*, e posteriormente, reintroduzido no sinal criando um *loop* ou *feedback* que entretanto é modulado em amplitude ou frequência, de forma a perder gradualmente energia como aconteceria naturalmente com uma corda. O tipo de impulso utilizado e o comportamento do filtro no sistema podem alterar as características da corda ou caixa-de-ressonância aproximado a sua sonoridade à de uma corda de metal ou de nylon (Roads, 1996).

2.4 Modulação de parâmetros de síntese aplicadas à composição musical

Como técnicas de modulação de parâmetros de síntese neste trabalho, entende-se a capacidade de manipular um sinal ou um parâmetro através de outro sinal ou parâmetro, o que neste caso, é por exemplo, a forma como estão associados os geradores de envolvimento, as unidades de LFO, ou os sinais provenientes do interface aos parâmetros de síntese existentes no sistema.

As técnicas de modulação na síntese possibilitam o aumento ou a influência do controlo de parâmetros de síntese facilitando novas formas de criação de expressividade

no sistema. Os sistemas de síntese que denominados de modulares (sintetizadores com vários módulos que se podem conectar entre si de variadas formas), possuem uma seção que lhes permite configurar a sua arquitetura do sistema, assim como a forma como estas modulações acontecem entre os parâmetros do sintetizador, permitindo criar novas formas de alterar todo o seu comportamento.

2.4.2 *Cellular Automata*

Segundo Roads (1996), as *cellular automata* foram inicialmente propostas por John Von Neumann como modelos de organismos auto-reprodutivos. As estruturas estudadas eram na sua maioria grelhas infinitas de uma ou duas dimensões, embora estruturas com mais dimensões fossem consideradas.

As *cellular automata* são sistemas dinâmicos nos quais o espaço e o tempo são discretos e podem ter um número variável de dimensões, sendo as formas mais comuns vetores lineares simples ou vetores lineares de duas dimensões de células. O algoritmo das *cellular automata* opera em paralelo sobre este conjunto de células, as quais podem ter uma de uma série de estados possíveis. A alteração simultânea de estado de cada célula é especificada por uma regra de transição local, que é por sua vez aplicada a uma vizinhança especificada em torno de cada célula (Roads, 1996).

Existem muitas formas diferentes de utilizar estes algoritmos na composição musical, como é o exemplo deste trabalho em que é utilizado para gerar padrões rítmicos, mas o mesmo processo com ligeiras alterações permitiria utiliza-lo para controlar a geração de outros eventos musicais ou o controlo de parâmetros de síntese sonora.

O algoritmo das *cellular automata* utilizado neste trabalho é o objeto CA desenvolvido por Bill Vorn para Max/Msp o qual opera apenas numa dimensão. As suas regras são baseadas na proximidade entre as células que apenas possuem dois vizinhos, o esquerdo e o direito. A cada nova geração, as células definem o seu estado de acordo com a regra de proximidade predefinida.¹⁷

Neste trabalho, os padrões gerados pelo algoritmo, podem ser mapeados para os sequenciadores de dezasseis passos que controlam o ritmo dos eventos musicais que acontecem no sintetizador.

¹⁷ <http://billvorn.concordia.ca/research/software/lifetools.html>, consultado a 26/06/2013

3 O sistema NADI

Parece apropriado, antes da descrição do projeto em si, discutir alguns dos conceitos que contribuíram para formar o conceito do NADI.

O artigo “*The medium is the message: Composing instruments and performing mappings*” descreve que Thor Magnusson considera o ato de compor um instrumento como o definir ou o delimitar das fronteiras do espaço musical, de maneira a que este seja percorrido durante a performance (Murray-Browne et al. 2011). Magnusson, relata que um qualquer instrumento é possuidor de *affordances*, restrições e mapeamento (Magnusson, 2010). De uma forma geral *affordance*, como é definido pelo psicólogo James J. Gibson (1979), é a capacidade de um objeto ou de um ambiente permitir a um indivíduo executar nele uma ação. Segundo Margaret Bodan (1990), as restrições mapeiam o território das possibilidades estruturais que podem ser posteriormente exploradas ou transformadas para dar origem a um outro território. Estas restrições, embora sejam limitações são, frequentemente, responsáveis por um impulso de criatividade como resposta da experiencia da ação do indivíduo (Boden, 1990).

Thor Magnusson (2010) afirma que em HCI¹⁸, *affordance* é tipicamente definido como a capacidade percecionada de um sistema para certas ações. É a capacidade que uma cadeira possui de nos sentarmos nela, um botão de ser pressionado e um bocal de ser soprado. No contexto dos instrumentos musicais, quer acústicos quer digitais, as restrições podem ser definidas como limitações, que são percebidas por meio da interação e da experiência. Os dois termos são complementares já que se focam em aspetos diferentes de um mesmo sistema. Afirma ainda o mesmo autor, posteriormente no mesmo no artigo, que na nova era dos instrumentos digitais, um instrumento é sempre caracterizado pela separação entre o interface e o motor de áudio, que são ligados por um motor de mapeamento de complexidade diversa.

Com base neste modelo, *affordances* neste sistema, podem ser consideradas todas as interações com o interface EPOC e com o GUI¹⁹, gerando resultados sonoros ou musicais. As restrições deste sistema são:

¹⁸ HCI (*Human-Computer-Interaction*) – Interação humano computador

¹⁹ GUI (*Graphic User Interface*) – Interface gráfico de usuário, que permite a interação do usuário com uma aplicação através de de imagens.

- as limitações sonoras do motor de áudio;
- as limitações de interação do interface EPOC e do GUI;
- os limites e os dimensionamentos criados para todos os parâmetros existentes no motor de áudio.

O mapeamento traduz-se na comunicação entre cada um dos elementos do motor de áudio assim como na comunicação entre o interface, o GUI, os geradores de eventos e esse mesmo motor de áudio.

Sendo assim, foi necessário primeiramente efetuar uma análise e testes extensivos ao interface, procurando atingir familiaridade com o seu comportamento e limitações. Observou-se então, que o interface apresentava sérias restrições no que diz respeito à sua velocidade de resposta, assim como alguma imprecisão no seu comportamento em alguns dos seus parâmetros. Tendo isto em conta, a melhor solução encontrada para obter resultados musicais seguros materializou-se na criação de um sistema de composição automática que possuísse algum grau de autonomia, e não estivesse demasiado dependente de uma resposta em tempo real do interface EPOC.

Partiu-se então para a concretização deste projeto, onde foi desenvolvido um motor de áudio com capacidade de síntese sonora e processamento de sinal, assim como um sistema de geração de eventos musicais e de controlo de expressividade dos seus parâmetros. Neste sistema foram criadas também matrizes para o mapeamento completo do interface EPOC, da empresa Emotiv, e mais uma para controlo dinâmico através de LFO's. Para o efeito foi utilizado o *software* Max/Msp, da empresa Cycling'74, dado que este *software* é detentor de uma grande versatilidade de ferramentas dedicadas à síntese sonora, processamento de sinal e tratamento e mapeamento de dados. Foi igualmente a ferramenta com que se desenvolveram mais projetos na área de áudio e tratamento de dados, no decorrer deste ciclo de estudos.

Na descrição do projecto, os parâmetros definem-se como tudo que é passível de ser controlado no sistema, seja no motor de áudio, nos sistemas de geração de eventos musicais ou no mapeamento.

A forma como são apresentadas esta análise e descrição segue uma lógica de prioridades e de execução procurando descrever cada elemento do sistema e o seu funcionamento, assim como os caminhos, problemas e decisões tomadas durante a construção do projeto. Assim sendo, no ponto 3.1 são elencadas as características do interface, assim como é apresentada uma análise completa das suas capacidades e

limitações baseada na minha experiência pessoal como utilizador do interface. No ponto 3.2 são apresentadas as ideias e os conceitos que que conduziram à formação do NADI, e são ainda descritas as etapas de projeção e construção de todo o sistema. No ponto 3.3 são descritos cada um dos elementos constituintes do NADI, bom como os sistemas a estes associados e o seu funcionamento.

3.1. Análise do interface



Fig1. Interface da empresa Emotiv, EPOC.

O interface possui catorze canais para a leitura independente, mais dois de referência da atividade eléctrica na cabeça, a partir dos quais se recebem sinais de EEG, EMG e EOG. Com estes sinais, o controlador de *software* oferecido pelo interface permite a análise:

- da expressão facial;
- dos estados "emocionais";
- dos valores enviados por um giroscópio de dois eixos;
- de reconhecimento de padrões cerebrais, o que permite, gravando a atividade cerebral durante algum tempo, mapear quatro pensamentos do utilizador acerca de algo em particular. Quando este voltar a ter o mesmo

pensamento pode despoletar um evento ou controlar a intensidade do mesmo.

As leituras são efetuadas pelo interface e depois transmitidas para o computador via *wireless*, onde o driver e controlador de software analisam e interpretam os sinais enviados pelo interface.

A empresa criadora do interface possui um *Software Development Kit* (SDK), que consiste num conjunto de ferramentas para desenvolvimento de *software* ou aplicações. Neste SDK, existe uma aplicação que permite observar a totalidade do estado do sistema e diagnosticar a sua capacidade de funcionamento. Nesse mesmo *software* é possível analisar a informação descodificada que é enviada em tempo real pelo interface através de quatro formas²⁰:

- a *Expressiv Suite* - utiliza sinais medidos pelo interface para interpretar as expressões faciais do usuário;



Fig.2 Janela do SDK do EPOC para monitorização da *Expressiv Suite*

²⁰ <http://www.emotiv.com/epoc/features.php>, consultado em 26-06-2013

- a *Affectiv Suite* - monitoriza os estados emocionais do usuário;

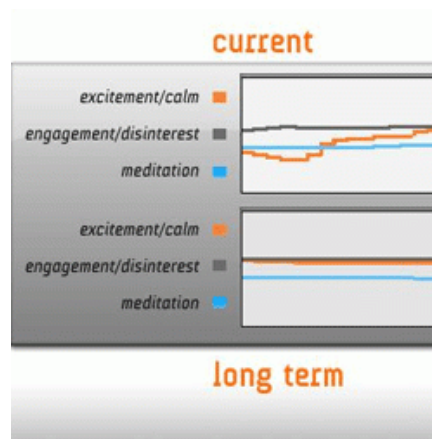


Fig.3 Janela do SDK do EPOC para monitorização da *Affectiv Suite*

- a *Cognitiv Suite* – efetua a leitura e a interpretação dos pensamentos e intenções do usuário, isto é, através do treino e gravação no controlador dos padrões mentais do usuário é possível detetar a intensidade com que o usuário posteriormente replica esse padrão de atividade cerebral;
- um giroscópio com 2 eixos – permite a análise do movimento da cabeça.

A *Expressiv Suite* apresenta a leitura de vários sinais para músculos diferentes da cara, e é bastante eficaz na sua deteção embora se sintam, por vezes, algumas imprecisões e alguma latência.

A *Affectiv Suite* oferece a análise de cinco diferentes aspetos do estado de ânimo do usuário, sendo que a variação dos seus parâmetros é, de certa forma, lenta e gradual.

Na *Cognitiv Suite*, é possível gravar pensamentos para a sua posterior deteção através do interface. A este processo chama-se *brainwave entrainment*, e através da aplicação é possível treinar o sistema no reconhecimento desses pensamentos. O tipo de pensamentos mais eficazes na utilização do interface é por si só um tema de estudo que transcende um pouco o domínio do estudo deste projeto, já que este trabalho se debruça essencialmente sobre a programação do motor de áudio e o seu mapeamento para o interface, e não sobre a utilização mais ou menos eficaz do interface em si. Do estudo feito ao *site* dos fabricantes e na recolha de informação de outros usuários assim como da experiência recolhida pela utilização do próprio interface, conclui-se que a melhor escolha de pensamentos está mais relacionada com a capacidade do usuário em conseguir manter uma atividade cerebral coerente ou estável durante a sua gravação e reprodução. O usuário deve procurar manter apenas na sua mente o pensamento

escolhido, evitando o mínimo de ruído possível. Uma outra característica deste sistema é que a cada pensamento gravado é exponencialmente mais difícil a sua reprodução, pelo que o treino aprofundado com a aplicação do SDK é aconselhável. Dos quatro pensamentos possíveis, classificaria o primeiro como fácil, o segundo como normal, o terceiro como muito difícil e o quarto como somente possível para alguém completamente proficiente na utilização do interface.

O giroscópio oferece exclusivamente informação sobre o deslocamento momentâneo do movimento da cabeça no eixo vertical e horizontal e não sobre a sua posição.

A comunicação do controlador do interface com o programa Max/Msp é efetuada através de uma aplicação chamada MindYourOSC²¹, que permite enviar as informações do controlador para o *software* Max/Msp por via do protocolo OpenSoundControl²².

As razões principais da escolha deste interface são a acessibilidade, assim como o facto de ser um interface *wireless*, atualmente acessível ao público com todas estas capacidades.

3.2 NADI- construção de um instrumento musical

O NADI é um sistema de composição digital em tempo real com capacidades de síntese sonora e geração de eventos musicais, o que faz de si um sistema de alguma complexidade. O sistema completo é composto por unidades de menor complexidade a que chamaremos neste documento de elementos. Estes elementos são cada um dos sintetizadores independentes existentes no sistema assim como as unidades de processamento de efeitos.

Foi projetado um motor de áudio com capacidade de síntese sonora e processamento digital de sinal assim como um sistema de geração de eventos musicais e de controlo de expressividade dos seus parâmetros. Nestes sistemas desenharam-se matrizes para o mapeamento completo do interface EPOC, da empresa Emotiv, e mais uma para controlo dinâmico através de LFO's. Para o efeito foi utilizado o *software* Max/Msp, da empresa Cycling'74, por possuir uma grande versatilidade com ferramentas dedicadas à síntese sonora, processamento de sinal e ao tratamento e

²¹ <https://github.com/bitrayne/MindYourOSCs>

²² Protocolo para comunicação entre computadores, sintetizadores de som e outros aparelhos multimédia otimizados para lidar com tecnologia moderna de sistemas de redes. <http://opensoundcontrol.org/introduction-osc> 13-02-2013

mapeamento de dados. Foi também a ferramenta com que se desenvolveram mais projetos na área de áudio e tratamento de dados, no decorrer deste ciclo de estudos.

Para o desenvolvimento do motor de áudio, foram utilizadas várias técnicas diferentes de síntese sonora, isto é, foram combinadas vários tipos diferentes de síntese num único sintetizador, de forma a obter uma maior riqueza tímbrica e diversas possibilidades de expressão. Foram construídos vários elementos diferentes de síntese, unidos pelos sistemas de controlo dos seus parâmetros mapeados para o interface e pela secção de processamento de sinal e mistura a que estão ligados por sinal de áudio.

As técnicas utilizadas na construção dos elementos de síntese foram a aditiva, a subtrativa, a FM ou modulação de frequência e a modelagem física em particular a técnica Karplus-Strong.

Para o suporte da geração de eventos musicais foi utilizada a técnica algorítmica *cellular automata* ou CA (modelo discreto de um sistema dinâmico em que o estado de uma célula ou unidade é definido ou influenciado pelas células adjacentes) (Nierhaus, 2009).

Analisando então todas as limitações impostas pelo interface, e tendo escolhido os métodos de génese sonora e de criação de eventos musicais, atingiu-se um ponto onde foi possível projetar as restrições que o sistema teria de possuir para um funcionamento eficaz. Procurou-se em simultâneo encontrar modelos de síntese com parâmetros de controlo adequados e um sistema de controlo de eventos musicais que o tornassem um instrumento suficientemente rico, versátil e expressivo, ou seja, enriquecendo-o em *affordances*.

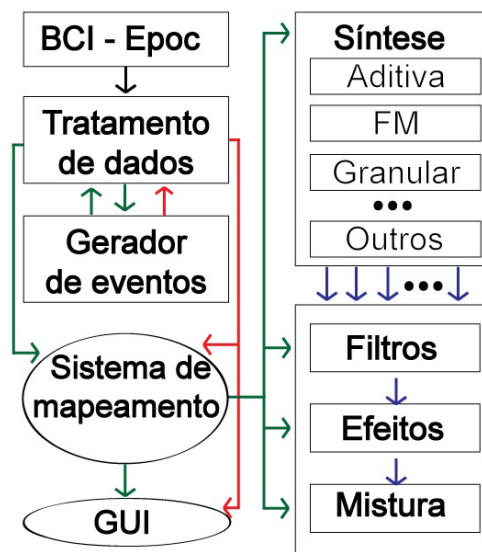


Fig.4 Diagrama de blocos do modelo inicial criado para o sistema NADI. Preto, dados não tratados; verde, dados tratados do interface; vermelho, dados gerados artificialmente; Azul, áudio.

Na Fig.4 podemos ver que toda a informação enviada pelo interface será primeiramente analisada e tratada para que seja compatível, adaptada e dimensionada aos parâmetros que posteriormente irá controlar. Decidiu-se depois, que todos os valores de saída do interface e entrada para os parâmetros do sistema seriam escalonados entre zero e cento e vinte e sete valores conforme a norma MIDI²³, o que permite facilidade de comunicação de cruzamento entre os parâmetros do sistema, oferecendo uma maior compatibilidade de acoplamento ou adaptação a sistemas exteriores de sequenciação ou síntese.

Todos os dados são transmitidos por um sistema de mapeamento que os distribui pelo motor de áudio e pelo interface de usuário. Este sistema de mapeamento aplica a informação enviada e já tratada pelo controlador nos vários estágios do motor de áudio permitindo controlar mais do que um parâmetro da criação sonora em simultâneo com uma função, assim como alterar o controlo de uma função do sistema através da ativação de ações simultâneas do interface.

Sendo este projeto direcionado para a composição em tempo real foi necessário dedicar uma atenção particular à precisão temporal de todo o sistema, pelo que após a criação do sistema básico de comunicação entre o *software* e o interface, foram construídos, logo de seguida, o sistema de controlo de tempo geral do sistema e um sequenciador de dezasseis passos no qual pudessem ser criados padrões rítmicos. A partir do modelo deste sequenciador de dezasseis tempos foi construído um para cada um dos elementos de síntese.

Foram depois construídos os elementos de síntese sonora bem como os seus sistemas de controlo, tendo sempre em conta a versatilidade tímbrica e a capacidade de controlo da sua expressividade sonora. Tendo estes fatores em conta decidiu-se também que o resultado final do sistema seria estereofónico.

À medida que foram criados novos elementos de síntese, foi sendo construído o sistema de mistura, seguindo-se-lhe a construção do sistema de processamento de sinal.

Na fase seguinte, foram criados os sistemas de construção rítmica e de geração de notas.

Todos os parâmetros de controlo do sistema com capacidade de serem manipulados, foram sujeitos a restrições de modo a que a sua utilização não permitisse uma completa descaracterização do elemento ou causasse algum tipo de conflito no

²³ MIDI (*Musical Instrument Digital Interface*) – Interface digital para instrumentos musicais que consiste num protocolo de comunicação para instrumentos electrónicos standardizado em 1983

sistema. Por conseguinte, após encontrada a gama de valores nos quais o parâmetro deveria oscilar, esta gama foi por sua vez escalonada para valores entre zero e cento e vinte e sete.

Nesse momento, foi possível definir com maior precisão o que o instrumento possuía como *affordances* e restrições manifestadas pelo motor de áudio e pelo interface. Passou-se assim para a fase final da construção do mapeamento, com a criação das matrizes de controlo do sistema e finalizou-se o projeto com a criação de *presets*.

3.3 Descrição dos elementos e dos sistemas associados

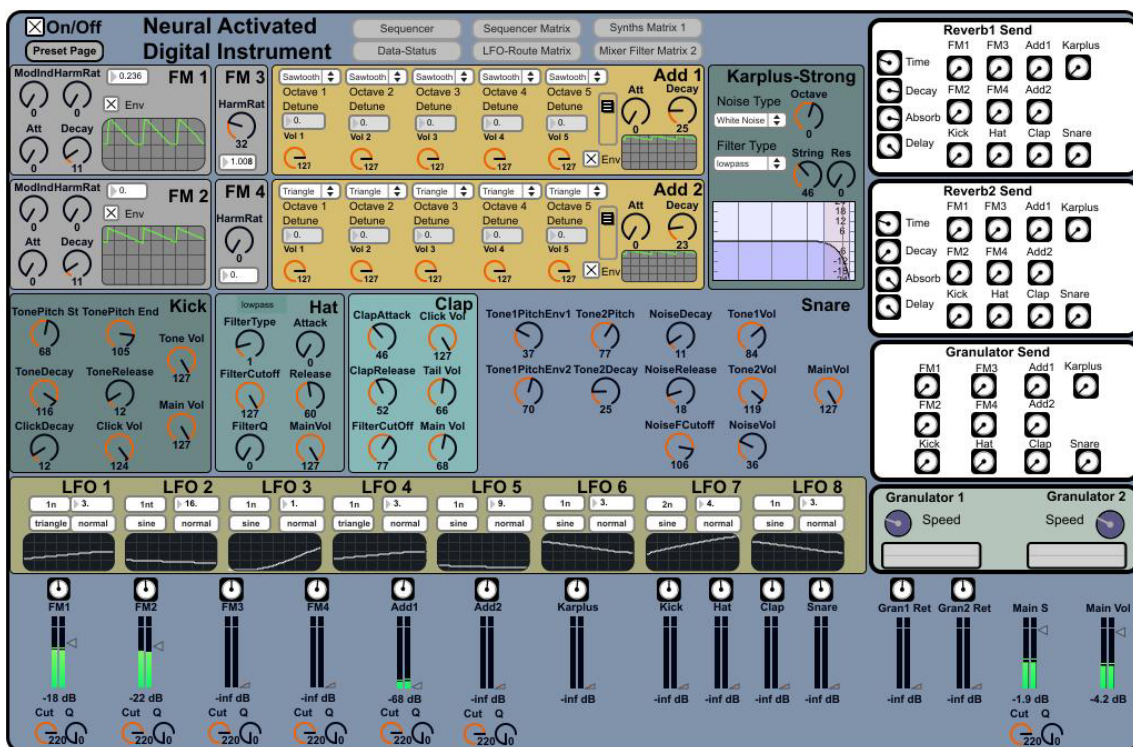


Fig.5 Pagina principal do GUI do aplicação NADI

De seguida são apresentados e descritos os elementos do sistema criados, assim como os diagramas de blocos para cada um dos elementos do sistema de síntese utilizados no projeto.

Aqui são descritos em 16 pequenos pontos os elementos FM1, FM2, FM3, FM4, ADD1, ADD2, Karplus-Strong, Kick, Hat, Clap, Snare, Reverb, Granular; assim como

os sistemas de mistura de som, os sequenciadores de dezasseis tempos, a geração de notas, os *cellular autómatas* utilizados e os sistemas de monitorização e mapeamento.

Para o elemento de Reverb não é apresentado diagrama de blocos, pois apesar de perfeitamente implementada no projeto foi extraída dos exemplos do próprio Max/Msp não tendo sido alterada de nenhuma forma. O elemento de efeitos gerados pela síntese granular é aqui também descrito, porém não foi criado um diagrama de blocos dada a simplicidade da sua arquitetura.

3.3.2 FM1 & FM2



Fig.6 Elementos de síntese FM1 e FM2.

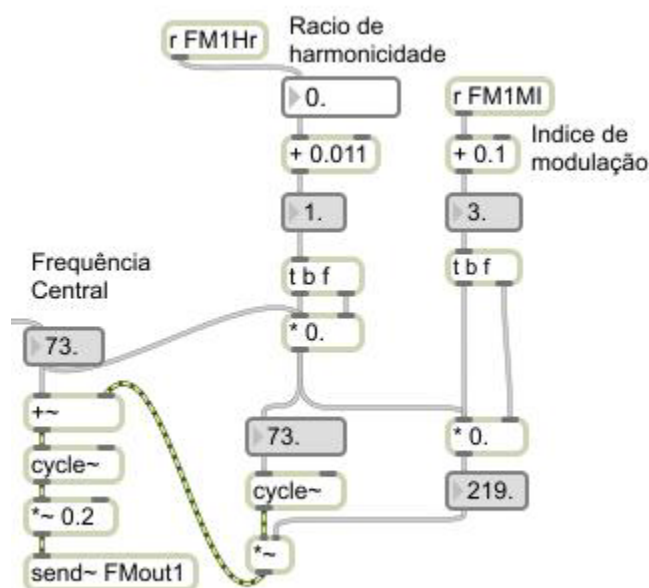


Fig.7 Patch em Max/Msp dos elementos FM1 e FM2.

Estes elementos de síntese FM foram extraídos e adaptados de um modelo criado nas aulas de síntese avançada de som lecionada por Carlos Guedes.

Possui um gerador de envolvência com capacidade de controlo.

3.3.3 FM3 & FM4



Fig.8 Elementos de síntese FM3 e FM4.

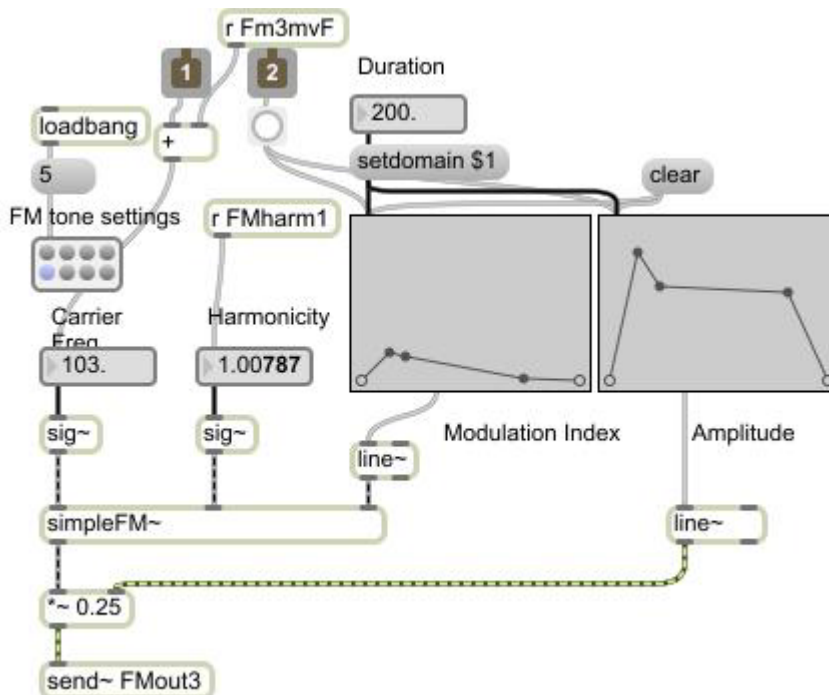


Fig.9 Patch em Max/Msp dos elementos FM3 e FM4.

Estes elementos de síntese FM foram extraídos e adaptados dos exemplos do Max/Msp, cuja particularidade se centra no facto de possuir um gerador de envolvência

gráfico para a amplitude e outro para o controlo do índice de modulação. Foi unicamente escolhido o rácio de harmonicidade como parâmetro de controlo.

3.3.4 ADD1 & ADD2

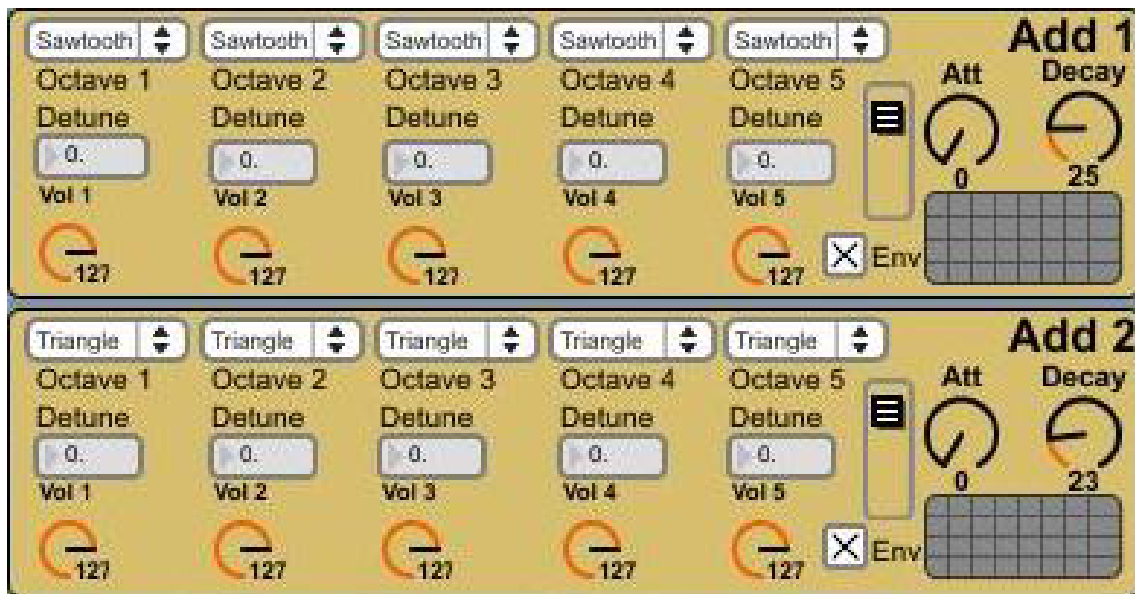


Fig.10 Elementos de síntese aditiva, ADD1 e ADD2

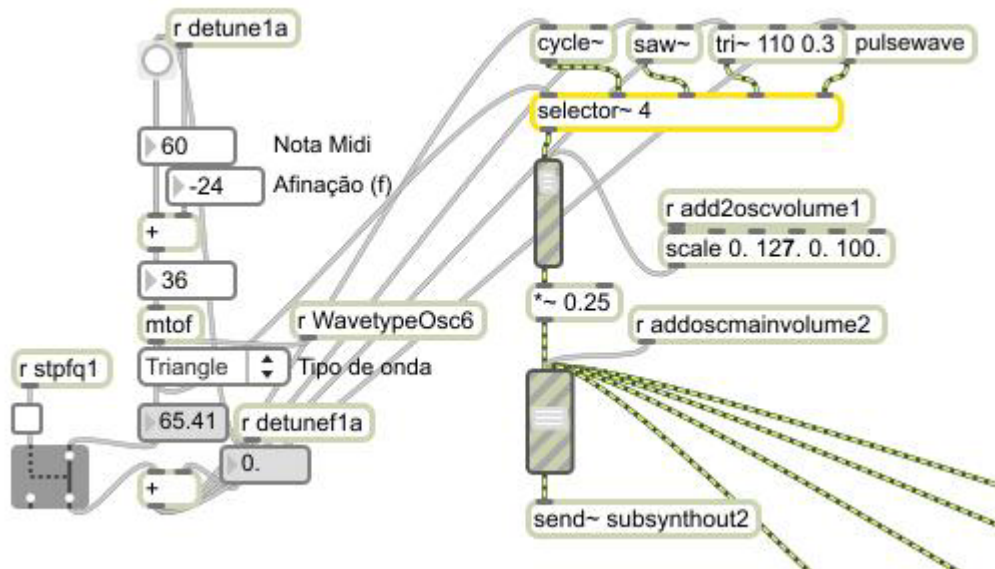


Fig.11 Patch em Max/Msp de um dos osciladores dos elementos ADD1 e ADD2.

Cada um destes elementos é um sintetizador aditivo com cinco osciladores de onda variada (sinusoidal, serra, triângulo e quadrada), onde cada oscilador possui uma oitava

em frequência superior à anterior e todos eles possuem controlo de parâmetros de afinação fina e de volume.

Possuem também um gerador de envolvimento com capacidade de controlo e um controle de volume geral.

3.3.5 Karplus-Strong

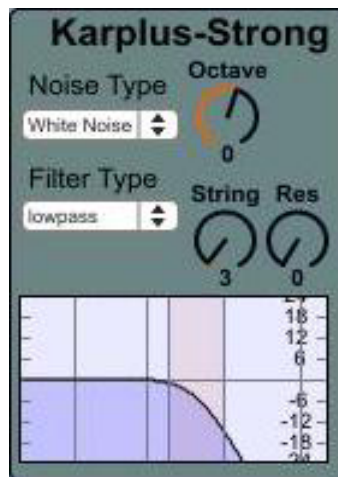


Fig.12 Elemento de síntese por modelos físicos, Karplus-Strong.

Este elemento é um sintetizador de modelagem física baseado no modelo do vídeo²⁴. Possui dois tipos diferentes de ruído assim como vários tipos de filtro procurando simular neste caso o tipo de corda e caixa-de-ressonância do instrumento.

²⁴ <http://www.youtube.com/watch?v=5RYy8Cvgkqk>; consultado a 28-06-2013

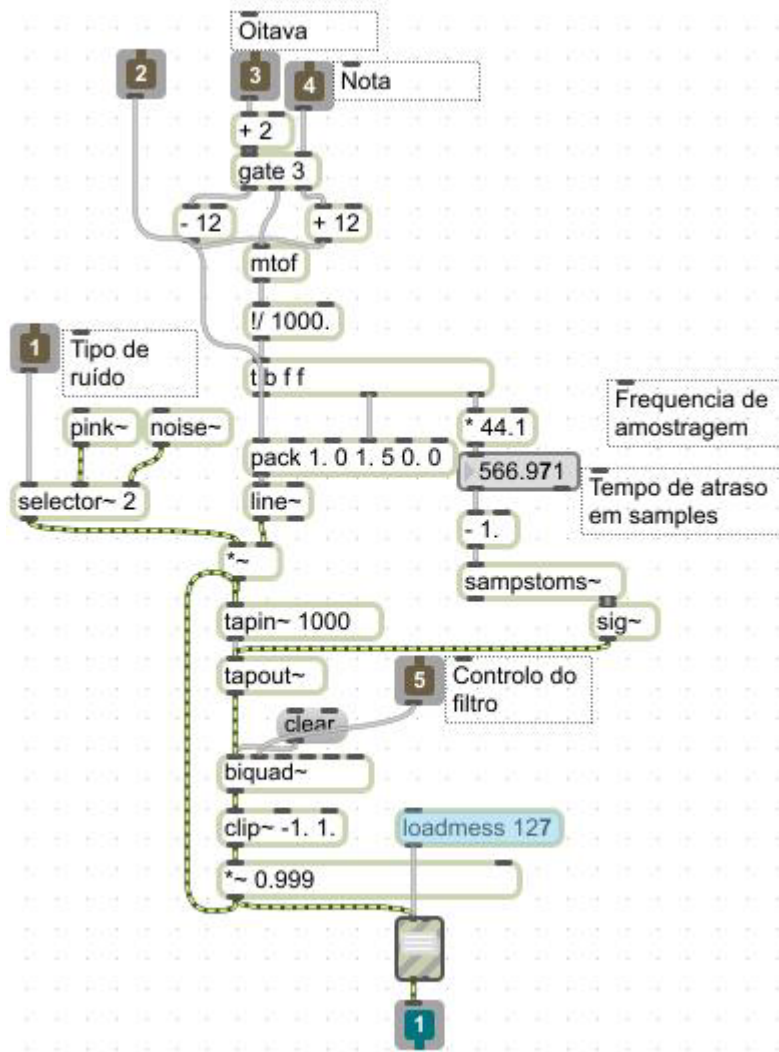


Fig.13 Patch em Max/Msp do elementos Karplus-Strong

3.3.6 Kick

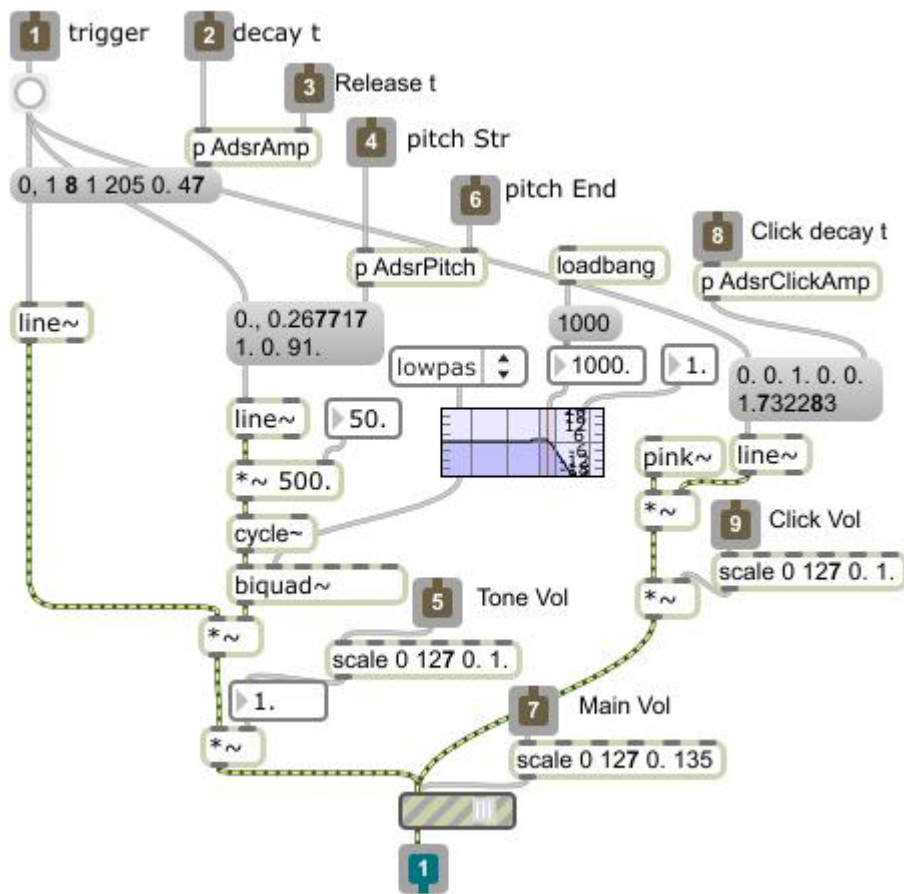


Fig.14 Patch em Max/Msp do elemento de emulação de bombo, Kick.

Este elemento é um sintetizador que emula o som de um de bombo através da junção de um pequeno impulso de ruído (*click*) em conjunto com uma onda sinusoidal modulada na sua frequência e amplitude (*tone*). Foi baseado num dos modelos apresentado no fórum da empresa Cycling'74²⁵

²⁵ <http://cycling74.com/forums/topic/how-do-i-create-drum-sounds-on-max-this-is-for-a-sequencer-beginner/>; consultado a 28-06-2013

3.3.7 Hat

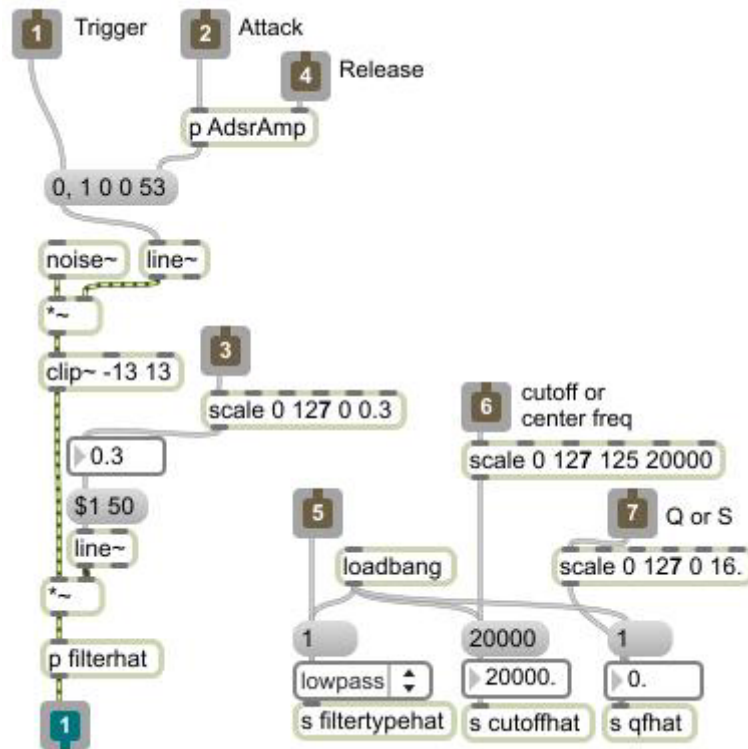


Fig. 15 Patch em Max/Msp do elemento de emulação de prato, Hat.

Este elemento é um sintetizador que emula o som de um prato de bateria. Criado através do uso de ruído branco modulado na sua amplitude que posteriormente é filtrado. Foi baseado num dos modelos apresentado no fórum da empresa Cycling'74²³.

3.3.8 Clap

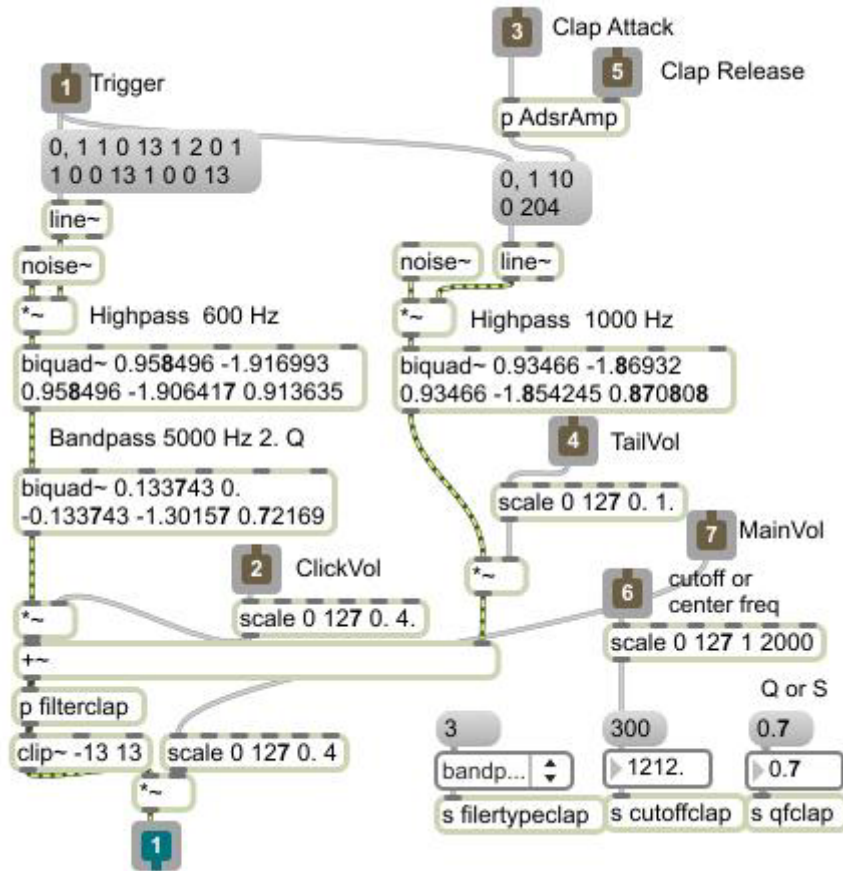


Fig.16 Patch em Max/Msp do elemento de emulação de palmas, Clap.

Este elemento é um sintetizador que emula o som de palmas. Foi criado através do uso de dois osciladores de ruído branco modulados na sua amplitude e que posteriormente são filtrados. Foi baseado num dos modelos apresentado no fórum da empresa Cycling'74.²³

3.3.9 Snare

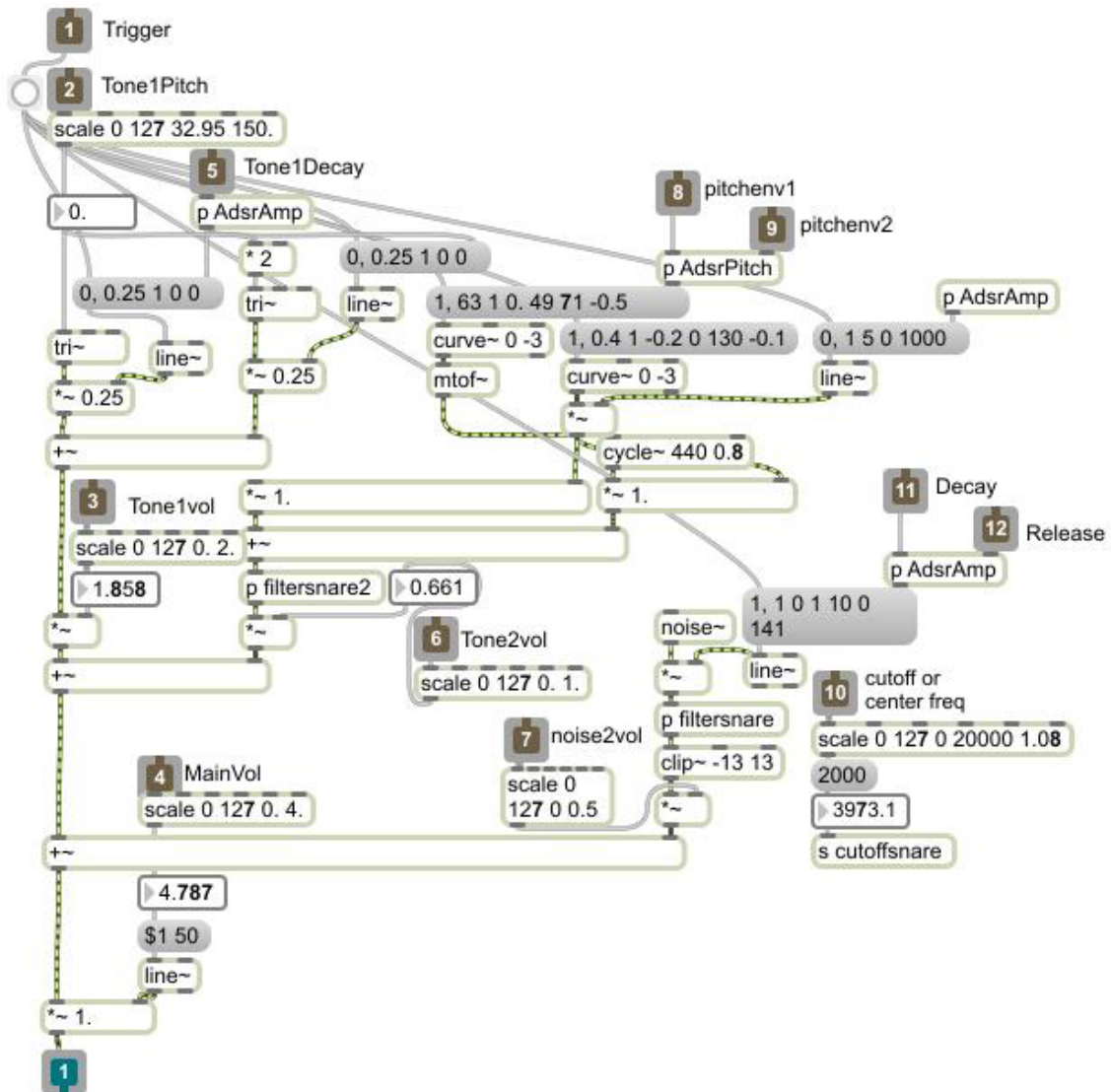


Fig.17 Patch em Max/Msp do elemento de emulação de tarola, Snare.

Este elemento é um sintetizador de emulação do som de uma tarola. Foi criado através do uso de dois osciladores de triângulo (*tone1*) modulados em amplitude, uma sinusoidal e rampa moduladas em frequência e filtradas (*tone2*) e por fim um gerador de ruído modulado em amplitude e filtrados. Foi baseado num dos modelos apresentado no fórum da empresa Cycling'74.²³

3.3.10 LFO



Fig.18 LFO ou oscilador de baixa frequência para controlo de parâmetros do NADI

Estes oito elementos são detentores de um oscilador de baixa frequência que foi extraído e adaptado dos exemplos do Max/Msp.

3.3.11 Reverb



Fig.19 Elementos de processamento de sinal, Reverb1 e Reverb2

Estes dois elementos são unidades de reverberação extraídas e adaptadas dos exemplos do Max/Msp. A cada um deles foi associado um sistema de envio individual do sinal proveniente de cada um dos elementos de síntese.

3.3.12 Granular

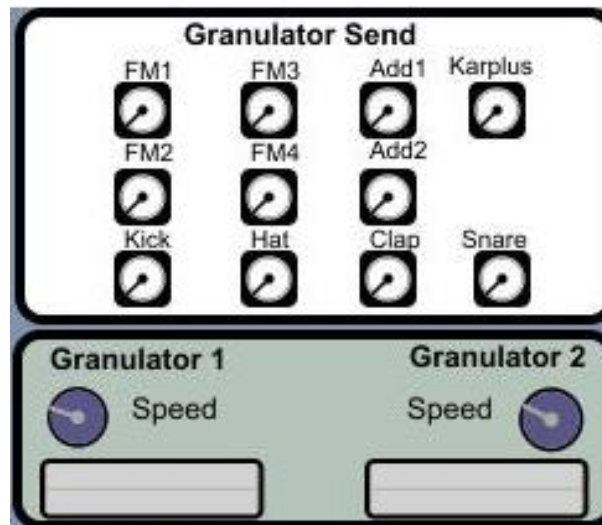


Fig.20 Elementos de processamento de sinal, Granular

Estes dois elementos são unidades de processamento de sinal que utilizam os princípios da síntese granular baseadas num modelo desenvolvido para as aulas de síntese avançada de som do Carlos Guedes. Este modelo, como gerador de envoltória, utiliza uma janela *hanning* para a modulação da amplitude, possuindo uma janela de amostragem variável independente para cada uma das unidades e ainda uma outra para o controlo da velocidade de reprodução. Às duas unidades foi simultaneamente implementado um sistema comum de envio do sinal proveniente de cada um dos elementos de síntese.

3.3.13 Mistura

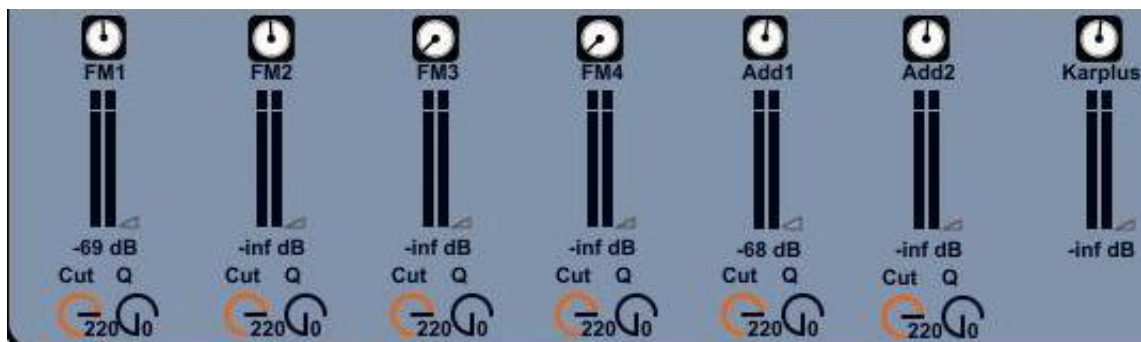


Fig.21 Parte do sistema de mistura do NADI

Cada elemento possui um controlo de volume e de panorâmica.

Cada um dos elementos tem encadeado no final do seu sinal um filtro, sendo exceção os elementos Karplus-Strong, Kick, Hat, Clap e Snare.

O sistema facilita o controlo do volume geral do conjunto dos elementos de síntese e do elemento Reverb não tendo este controlo de volume próprio, sendo controlado através do nível de envio. Existe também um filtro no final deste sinal.

O volume geral possui também um sistema de controlo porém não possui filtro no final da cadeia.

3.3.14 Sequenciador de dezasseis passos (Step Sequencer)

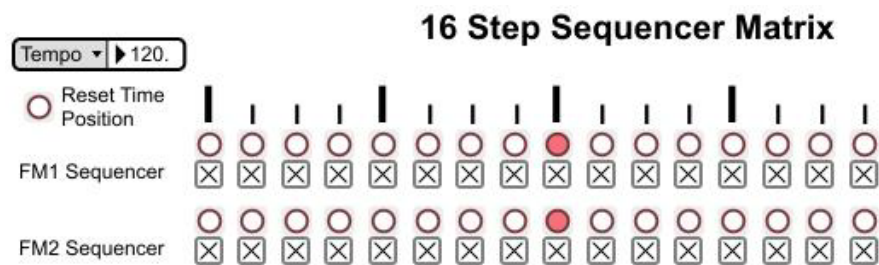


Fig.22 Dois sequenciadores de dezasseis passos para os elementos FM1 e FM2.

Este é um elemento que possui onze sequenciadores sincronizados de dezasseis passos, com tempo e subdivisão variáveis. Existe um sequenciador associado a cada um dos elementos de síntese.

É possível a criação rítmica no sistema através da manipulação do GUI ou mapeando uma das matrizes de controlo para unidade de *Cellular Automata*.

3.3.15 Geração de notas

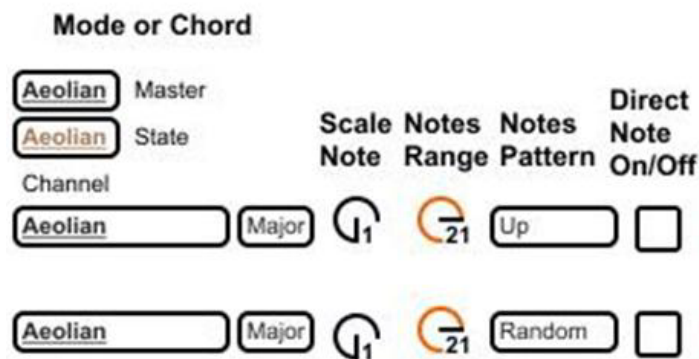


Fig.23 Arpeggiator para os dois elementos

O sistema adotado para a geração das notas foi a criação de listas de valores de notas correspondentes a modos e acordes musicais.

Estas listas são de 21 notas, pois assim foi possível atingir uma extensão de 3 oitavas, o que pareceu suficiente. Estas listas foram reduzidas em número de notas diferentes para os acordes, evitando que os sintetizadores tivessem de reproduzir frequências excessivamente elevadas podendo criar inconsistências tonais ou alguma agressividade tímbrica excessiva.

O sistema de geração de notas é independente para cada um dos elementos, embora seja possível escolher simultaneamente o modo musical de todos os elementos ao mesmo tempo.

É possível a escolha dos modos ou acordes para cada um dos elementos assim como a forma como são reproduzidas as notas de cada um desses modos ou acordes. Para isso pode escolher-se entre:

- a reprodução completamente aleatória;
- o *random walk* em que a cada nota apenas se pode seguir a si mesma ou à exatamente superior ou inferior na lista;
- a reprodução de todas as notas da lista sem repetições;
- a reprodução ascendente;
- a reprodução descendente;
- a reprodução ascendente seguida de descendente.

3.3.16 Cellular Automata

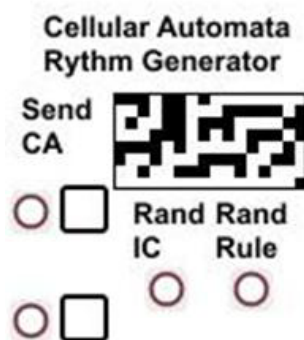


Fig.24 Pormenor do sistema de geração de ritmo por *Cellular Automata*

Este sistema de criação de padrões rítmicos com princípio nos algoritmos biológicos, foi baseado e adaptado de um objeto criado para Max/Msp por Bill Vorn²⁶.

Este algoritmo produz padrões de estruturas rítmicas com vista a serem utilizadas nos sequenciadores de dezasseis passos, pelo que é possível assignar o padrão que estiver a ser gerado no momento a cada um dos elementos ou deixar que o gerador vá alterando a estrutura rítmica do elementos a que está ligado. É ainda possível alterar aleatoriamente as condições iniciais ou a regra de evolução do algoritmo permitindo deste modo obter diferentes evoluções do padrão rítmico.

3.3.17 Sistemas de monitorização e de mapeamento

A página que diz respeito à informação proveniente do interface oferece uma forma de monitorização dos valores enviados pelo interface para o sistema, assim como a possibilidade de escolher três formas de tratamento desses valores. Saliente-se que todos os valores foram anteriormente transformados em valores compatíveis com o sistema MIDI. O usuário pode assim reenviar estes valores para o resto do sistema das seguintes formas através do *Data Type (Fig.19)*:

- forma direta (sem alteração);
- em *trigger* (quando os valores são zero até atingirem determinado limiar após o qual têm valor máximo);
- *ballistic* (possuem um sistema que permite que as variações bruscas de valores se efetuem de forma mais suave);
- *ramp* (os valores recebidos tem um comportamento linear constante independentemente das suas variações).

²⁶ <http://billvorn.concordia.ca/research/software/lifetools.html>, consultado a 26/06/2013

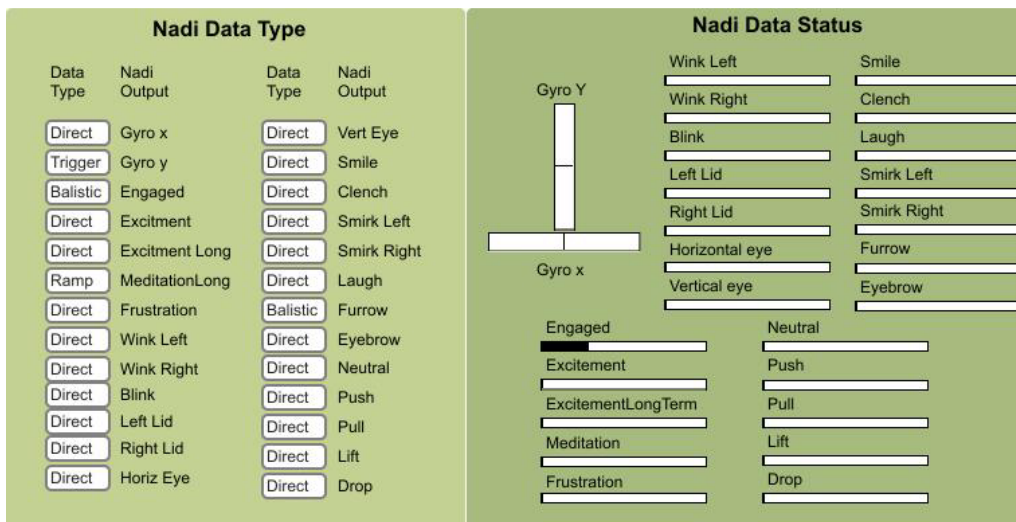


Fig.35 Página de monitorização e tratamento da informação proveniente do interface.

Foi ainda elaborado um sistema de criação e navegação de *presets* com alguns exemplos desenvolvidos com o intuito de dar a melhor compreensão das possibilidades do instrumento e facilitar a sua utilização.

Foram criadas para o controlo dinâmico dos parâmetros do sistema quatro páginas diferentes com matrizes de três dimensões de modo a que fosse possível controlar a quantidade de modulação que se pretendia aplicar em cada um dos parâmetros e ainda outra página referente ao tratamento de dados e monitorização do interface.

Das quatro páginas acima referidas, duas estão relacionadas com a comunicação entre o interface e o motor de áudio criou-se outra para a comunicação do interface e os parâmetros de geração de notas e de ritmo e ainda um outra para o controlo dos parâmetros de síntese e de mistura através dos LFO's (anexo I).

Após a análise de alguns sistemas de síntese diferentes e de alguma experimentação, foi adotado um sistema cuja modulação é efetuada através do incremento dos valores provenientes do interface ou LFO's ao valor do parâmetro a modular, excetuando nos parâmetros que dizem respeito ao controlo da panorâmica na qual a modulação é efetuada com a adição de valores positivos e negativos tendo um resultado que varia em torno do valor inicial.

Na página de matrizes relacionadas com a geração de eventos musicais, o parâmetro de *trigger* refere-se à possibilidade de mapear um parâmetro do interface para que dispare uma nota num dos elementos. Este disparo está sempre sujeito à pulsação do tempo geral do sistema, pelo que ao receber um valor com um nível suficiente para o

ativar, espera pela próxima pulsação do sistema de sequenciação para disparar, encontrando-se assim sempre sincronizado com o tempo geral do sistema.

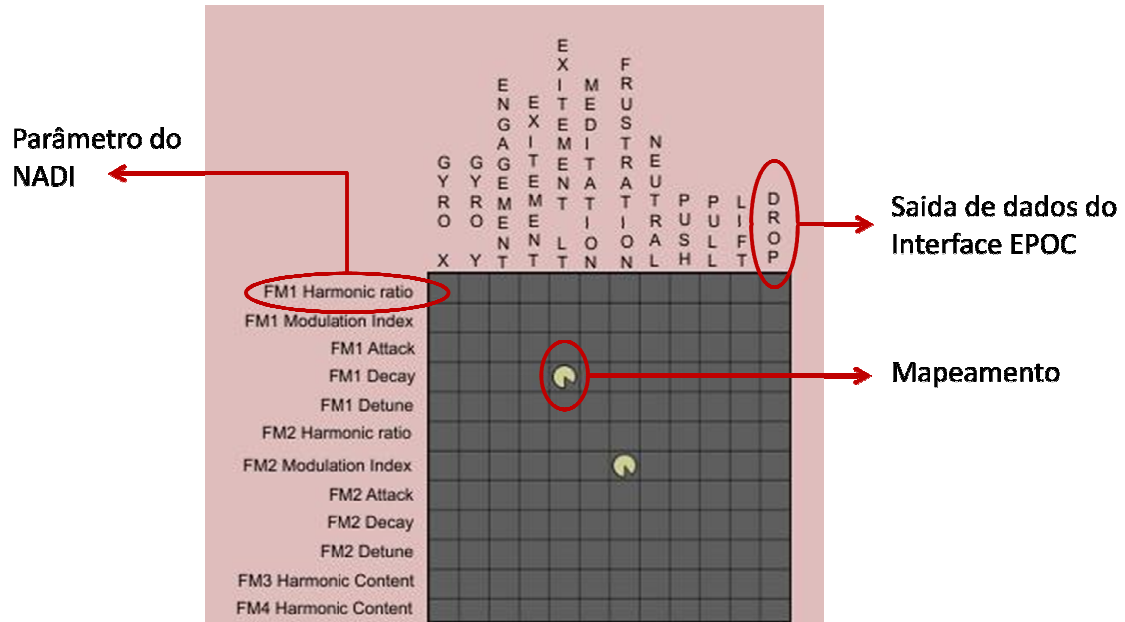


Fig.26 Exemplo de mapeamento do NADI

3.5. Apresentação e discussão de resultados

Neste ponto são apresentados e discutidos os resultados obtidos na criação do NADI. A avaliação destes resultados é fruto da experiência empírica com o sistema pelo que a avaliação é subjetiva. Esta avaliação é subjetiva, pois outro tipo de avaliação seria impossível dado o tempo disponível para a concretização deste mestrado o que transcende o âmbito deste projeto.

No ponto 3.5.1 são primeiramente discutidos as três características principais do sistema deste projeto: o motor de áudio, a criação musical e o GUI e o mapeamento

3.5.1. Análise dos sistemas

Neste ponto são discutidos os resultados dos três principais atributos de todo o sistema, sendo estes: o motor de áudio e a sua capacidade de criação e variedade sonora (ponto 3.5.1), a criação musical (ponto 3.5.2); e todos os sistemas relacionados com a

geração de eventos musicais, a sua implementação, o GUI e mapeamento do interface (capítulo 3.5.3) que são todos os sistemas de controlo e comunicação existentes no projeto.

3.5.1.1. Motor de áudio

O sistema criado oferece uma variedade tímbrica que responde às necessidades composicionais mínimas da música eletrónica atual. Possui algumas características particulares como a combinação de algumas técnicas bem diferentes de síntese, ou a utilização da síntese granular para o processamento de efeitos.

Após alguma utilização do sistema consegue-se obter uma impressão geral estética das texturas sonoras criadas, sugerindo uma sensação de coerência e harmonia entre os seus elementos constituintes. Esta sensação pode ser fruto da coesão dos resultados obtidos através da síntese sonora ou pode resultar de alguma limitação nas capacidades de variação tímbrica da mesma, as quais talvez pudessem ser ultrapassadas com a utilização de outras técnicas de síntese sonora diferentes, ou com o aperfeiçoamento das mesmas.

O motor de áudio pode ainda ser aperfeiçoado no que diz respeito às capacidades e às restrições dos seus parâmetros, pelo que a experiência acumulada advinda da sua utilização irá oferecer a informação necessária para proceder a essas alterações.

3.5.1.2. Criação musical

Na criação de eventos musicais, o sistema de geração de notas talvez seja o mais simples de todos os sistemas envolvidos no projeto. Embora seja eficaz no seu propósito, apresenta profundas limitações no que concerne às mudanças de tonalidades ou ao controlo harmónico entre os elementos da composição assim como, por vezes, o seu desenho melódico revela um comportamento demasiado previsível.

No que diz respeito à criação rítmica, as soluções encontradas oferecem bastante mais flexibilidade, uma vez que:

- o sequenciador de dezasseis passos permite uma programação rítmica com extensão e precisão aceitáveis;
- a utilização dos sinais do interface em tempo real oferece uma experiência de algum imediatismo;
- o sistema de *cellular atomata* oferece uma forma muito interessante de apoio à criação rítmica.

3.5.1.3. GUI e mapeamento

A página principal do GUI do sistema oferece um controlo claro de cada um dos parâmetros do motor de áudio disponíveis no sistema, assim como o acesso às páginas de sequenciação, monitorização do interface, mapeamento do sistema e navegação de *presets*.

A criação das janelas extras no sistema permitiu criar um sistema completo de monitorização e mapeamento do interface para o sistema aliviando a janela principal do GUI.

A janela de monitorização permite uma rápida análise da informação proveniente do interface e oferece simultaneamente uma forma de manipular essa informação antes da mesma ser enviada para os parâmetros de controlo do restante sistema.

A janela de sequenciação oferece uma visualização clara dos eventos rítmicos gerados pelo sistema, o mesmo não acontece com sistema de geração de notas que embora seja simples não oferece nenhuma forma de visualização. No que concerne o controlo dos parâmetros existentes para a composição musical na página de sequenciação, estes já se apresentam de forma clara e funcional.

As janelas independentes, com as matrizes de mapeamento do interface e dos LFO's, permitem ao sistema uma flexibilidade enorme no mapeamento dos seus parâmetros porém simultaneamente criou igualmente alguma densidade e complexidade na sua programação. Embora o sistema tenha sido simplificado de muitas formas para procurar não se tornar excessivamente denso na programação, foram surgindo muitos parâmetros relevantes para a criação musical responsáveis por uma importante variedade e expressividade do sistema. Esta quantidade de parâmetros relevantes traduziu-se em páginas de mapeamento um pouco extensas no seu conteúdo, como se pode verificar nos anexos deste documento. Após alguma experiência de utilização

talvez surja a necessidade de refletir sobre formas alternativas da sua apresentação. São de salientar ainda as limitações de edição gráfica do GUI no *software* Max/Msp e alguns *bugs* que este apresentou a este nível, o que em nada contribuiu para a clareza de apresentação do GUI nas páginas de mapeamento.

Outro ponto importante diz respeito ao tratamento da informação proveniente do interface, o qual, apesar de ser eficaz, e possuir algumas opções, estas revelam-se um pouco próximas em termos de resultados com exceção do modo *trigger*.

4. Conclusão

Finalizando este documento, apresenta-se agora um sumário dos pontos principais deste projeto, é apresentada uma reflexão sobre as capacidades e limitações do sistema, assim como o desenvolvimento futuro previsto para o projeto, terminando com as considerações finais

Este documento apresenta o projeto do fim do ciclo de estudos do mestrado de multimédia, perfil musica interativa e *design* de som, da faculdade de engenharia da Universidade do Porto. Este trabalho consiste neste documento contendo toda a investigação efetuada no desenvolvimento do projeto assim como a completa descrição do sistema utilizado, a sua conceção e criação, assim como a análise dos resultados obtidos através da minha própria experiência empírica com o sistema.

O NADI é um sistema digital de composição musical em tempo real passível de ser controlado através da análise dos impulsos elétricos gerados pelas ondas cerebrais, músculos da cabeça e olhos assim como da análise do movimento da cabeça. O sistema completo é um instrumento musical digital composto por uma aplicação desenvolvida em Max/Msp e que pode ser controlada pelo interface Epos da empresa Emotiv. A aplicação tem completa autonomia na criação sonora e um comportamento reativo na geração dos seu eventos musicais conferindo-lhe alguma autonomia em relação á sua operabilidade com o interface.

O NADI cumpre todos os requisitos da tarefa a que se propôs abrindo ainda novas portas para o desenvolvimento e para a exploração das áreas associadas ao projeto.

Pese embora se conheçam todos os elementos de um sistema com estas características e seja possível, de alguma forma, prever o seu comportamento, a experiência da sua utilização, além de apresentar muitas vezes resultados inesperados, inspira a abordagens diferentes na sua utilização.

No sistema completo verificam-se dois tipos de imprevisibilidades na sua utilização. A primeira imprevisibilidade é positiva, e é resultante da variedade e expressividade tímbrica do motor de áudio, aliada às capacidades de mapeamento e característica pouco convencional do interface escolhido. Este conjunto de fatores concede à experiência de utilização do NADI, surpresas no seu comportamento e por vezes ainda certas componentes indeterminísticas no exercício da composição musical ou controlo de parâmetros de síntese. Estes tipos de imprevisibilidade estimulam a

utilização criativa do sistema e contribuem para um aumento da satisfação de utilização do NADI, criando também no utilizador, uma sensação de haver mais para explorar. O motor de síntese e processamento de sinal, e o sistema de composição simples porém eficaz, quando associados à flexibilidade do sistema de mapeamento do interface conferem-lhe estas potencialidades.

A segunda é negativa e está relacionada com o ruído existente no conjunto do sistema, particularmente com a análise da informação obtida pelo interface e latência gerada pelo sistema. O interface por vezes fornece alguma informação incorreta, particularmente na análise da expressão facial. Este tipo de ruído introduzido pelo interface, causa frustração no utilizador e define certos limites à evolução da experiência de utilização do sistema como um instrumento musical.

Com todos estes fatores o NADI é um instrumento musical inovador com características, capacidades e limitações semelhantes a qualquer outro instrumento deste género. Possui algumas limitações no que diz respeito à natureza do interface mas compensa-o com riqueza de elementos e versatilidade, assim como com a sua natureza reactiva.

Como desenvolvimento futuro imediato deste projeto pretende-se estender a base de usuários do sistema para a obtenção de mais informação acerca da experiência da sua utilização com vista ao melhoramento de alguns dos sistemas criados.

Como melhoramentos do motor de áudio pretende-se aperfeiçoar as capacidades e as restrições de todos os seus parâmetros, assim como estudar a possibilidade de implementar outros tipos de técnicas de síntese distintas das utilizadas.

Pretende-se ainda desenvolver novos sistemas de geração de eventos aplicados à composição musical incidindo em particular no sistema de geração de notas, sistema este, que irá ser desenvolvido de modo a que ofereça mais possibilidades de comunicação entre os diferentes elementos.

Pretende-se igualmente efetuar melhoramentos no GUI quer em termos estéticos quer no que concerne à usabilidade, em particular no que diz respeito ao sistema de mapeamento e a novas formas de interpretação e tratamento dos dados provenientes do interface.

Será desenvolvida uma versão do sistema em Max4Live para a sua utilização no *software* de criação musical *Live* da empresa *Ableton*, assim como será criado um sistema de comunicação externo através do protocolo MIDI.

O NADI irá ser utilizado com fins pedagógicos como ferramenta de apoio no ensino das áreas da sua abrangência, assim como para o desenvolvimento da criação musical e da performance artística.

Julgo que o aparecimento cada vez mais notório de sistemas deste género irá facilitar experiências inovadoras na área da criação musical, assim como simplificarão a importante tarefa de levar a criação musical à população que se via afastada desta por questões motoras.

Esta frase, a nível pessoal exprime a síntese da sensação vivenciada com todo o processo de criação e desenvolvimento do NADI e a surpresa advinda dos resultados obtidos pela experiência do seu uso: Sempre que se cria um objeto, um sistema de pensamento, uma equação - com plena consciência dos próprios objetivos - nunca se pode saber ao certo qual será a verdadeira extensão do fenómeno provocado (Branco & Branco, 2011).

Referências bibliográficas:

(Angel, 2011) Claudia Robles Angel. *Creating Interactive Multimedia Works with Bio-data*. In *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*, pp.421-424. Oslo, Norway, 2011. http://www.nime.org/proceedings/2011/nime2011_421.pdf

(Boden, 1990) M. A. Boden. *The Creative Mind: Myths and Mechanisms*. George Weidenfeld and Nicolson Ltd, London, United Kingdom, 1990.

(Branco & Branco 2011) R. A. Branco , H. Branco. *Design and the Cognitive Sciences: from a to b and back again*. In *Endless End: 9Th International European Academy of Design Conference*. Porto, Portugal 2011.

(Gibson, 1979) J.J. Gibson. *The Ecological Approach to Visual Perception*. Houghton Mifflin, Boston, Massashusetts, USA, 1979. <http://gombricharchive.files.wordpress.com/2011/04/showdis9.pdf>

(Graumann et al. 2010) Bernhard Graumann, Brendan Allison e Gert Pfurtscheller. *Brain-Computer Interfaces: A Gentle Introduction*. In *Brain-Computer Interfaces*, pp.1-27. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2010. <http://www.springer.com/978-3-642-02090-2> ; 13-02-2013

(Magnusson, 2010) Thor Magnusson. *Designing Constraints: Composing and performing with Digital Musical Systems*. In *Computer Music Journal*, 34:4, pp. 62–73,

(Miranda et al. 2005) Eduardo R. Miranda, Andrew Brouse, Bram Boskamp, Hilary Mullaney. *Plymouth Brain-Computer Music Interface Project: Intelligent Assistive Technology for Music-Making*. Computer Music Research, School of Computing, Communications and Electronics, University of Plymouth, United Kingdom, 2005. <http://cmr.soc.plymouth.ac.uk>

(Miranda et al. 2006a) Eduardo R. Miranda, Wendy L. Magee, John Wilson, Joel Eaton, Ramaswamy Palaniappan. *Brain-Computer Music Interfacing: From Basic*

Research to the Real World of Special Needs. Freund Publishing House Limited, United Kingdom, 2006. <http://csee.essex.ac.uk/staff/palaniappan/MMD%20reprint.pdf>

(Miranda, 2006b) Eduardo R. Miranda. *Brain-Computer music interface for composition and performance*. In *International Journal on Disability and Human Development*. Freund Publishing House Limited, United Kingdom, 2006. http://cmr.soc.plymouth.ac.uk/publications/ijdh_5_2_2006.pdf

(Miranda, 2006c) Eduardo R. Miranda. *Brain-Computer Music Interface for Generative Music*. Interdisciplinary Centre for Computer Music Research, University of Plymouth, Drake Circus, Plymouth, United Kingdom, 2006. <http://cmr.soc.plymouth.ac.uk/publications/icdvrat06.pdf>

(Murray-Browne et al. 2011) Murray-Browne T., Mainstone D., Bryan-Kinns N., Plumbley M. D. *The medium is the message: Composing instruments and performing mappings*. In *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*. Oslo, Norway, 2011. <http://www.nime2011.org/proceedings/papers/B08-Murray-Browne.pdf>

(Nierhaus, 2009) Gerhard Nierhaus. *Algorithmic Composition: Paradigms of Automated Music Generation*. Springer, Germany, 2009

(Papen, 2008) Rob Papen. *The Secrets of Subtractive Synthesis: The 4 Element Synth*. Rob Papen, all rights reserved, 2008.

(Roads, 1996) Curtis Roads. *The Computer Music Tutorial*. MIT Press, USA, 1996.

(Rosenboom, 1997) David Rosenboom. *Extended Musical Interface with the Human Nervous System*. In *Leonardo as Leonardo Monograph No. 1*. International Society for the Arts, Sciences and Technology, San Francisco: Leonardo/ISAST), MIT Press San Francisco, California, USA, 1997. http://davidrosenboom.com/sites/default/files/media/downloads/MusInter.LEO_.97.fina_l_w_figs.pdf

(Russ, 1996) Martin Russ, *Sound Synthesis and Sampling*, Elsevier, USA 1996

(Tanaka, 1993) Atau Tanaka. *Musical Technical Issues in Using Interactive Instrument Technology with application to the BioMuse*. In *Proceedings of the 1993 International Computer Music Conference – Tokyo*, pp.124-126. ICMA. Department of Music, Stanford University, USA, 1993. <http://quod.lib.umich.edu/cgi/p/pod/dod-idx/musical-technical-issues-in-using-interactive-instrument.pdf?c=icmc;idno=bbp2372.1993.023>

(Teitelbaum, 2006) Richard Teitelbaum. *Improvisation, Computers and the Unconscious Mind*. In *Contemporary Music Review Vol. 25, Nos. 5/6*, pp.497-508. Taylor & Francis Group, Dezembro 2006. http://www.albany.edu/music/429readings/teitelbaum_%20improv%26theunconscious.pdf

(Valdez & Thurtle, 2005) Claudia X. Valdes e Phillip Thurtle. *Biofeedback and the arts: listening as experimental practice*. In *REFRESH conference, First International Conference on the Media Arts, Sciences and Technologies*, Banff Center. Banff New Media Institute, Leonardo/ISAST, Alberta, Canada, 2005. http://www.mediaarthistory.org/wp-content/upload/2011/05/Valdes_Thurtle.pdf

(Vallabhaneni et al. 2005) Anirudh Vallabhaneni, Tao Wang, and Bin He. *Neural Engeneering Brain computer interface*. In *Neural Engineering*, pp.85-121. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, New York, USA, 2005.

(Vidal, 1973) Jaques J.Vidal. *Toward direct brain-computer communication*. In *Annual Review of Biophysics and Bioengineering, Vol. 2*, pp.157-180. Brain Research Institute, University of California, Los Angeles, California, USA, 1973. <http://www.cs.ucla.edu/~vidal/BCI.pdf>

(Vidal, 1977) Jaques J.Vidal. *Real-Time Detection of Brain Events in EEG*. *IEEE Proceedings Volume.65, Issue.5*, pp.633-641. University of California, Los Angeles, CA, Maio 1977. http://www.cs.ucla.edu/~vidal/Real_Time_Detection.pdf

(Watkinson, 2001) John Watkinson, *The Art of Digital Audio*, Focal Press, USA, 1988

(Wolpaw et al. 2000) Jonathan R. Wolpaw, Niels Birbaumer, William J. Heetderks, Dennis J. McFarland, P. Hunter Peckham, Gerwin Schalk, Emanuel Donchin, Louis A. Quatrano, Charles J. Robinson, Theresa M. Vaughan. *Brain-Computer Interface Technology: A Review of the First International Meeting*. In *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering vol.8, no. 2*, pp.164-173. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, USA, Junho 2000.
<http://www.ocf.berkeley.edu/~anandk/neuro/BCI%20Overview.pdf>

(Wolpaw et al. 2002) Jonathan R. Wolpaw, Niels Birbaumer, Dennis J. McFarland, Gert Pfurtscheller, Theresa M. Vaughan. *Brain Computer Interfaces for Communication and control*. Elsevier Science Ireland Ltd, 2002.
<http://www.ai.rug.nl/~lambert/projects/BCI/literature/serious/non-invasive/BCI-for-communication-and-control.pdf>
2010 Massachusetts Institute of Technology. USA 2010.
<http://eprints.brighton.ac.uk/10105/1/34.4.magnusson.pdf>
<https://bpv-tese.googlecode.com/hg-history/fe500b91b75630b5281e13fbc7e38e82853556/src/referencias/fulltext.pdf>

ANEXO I

Páginas de mapeamento do NADI

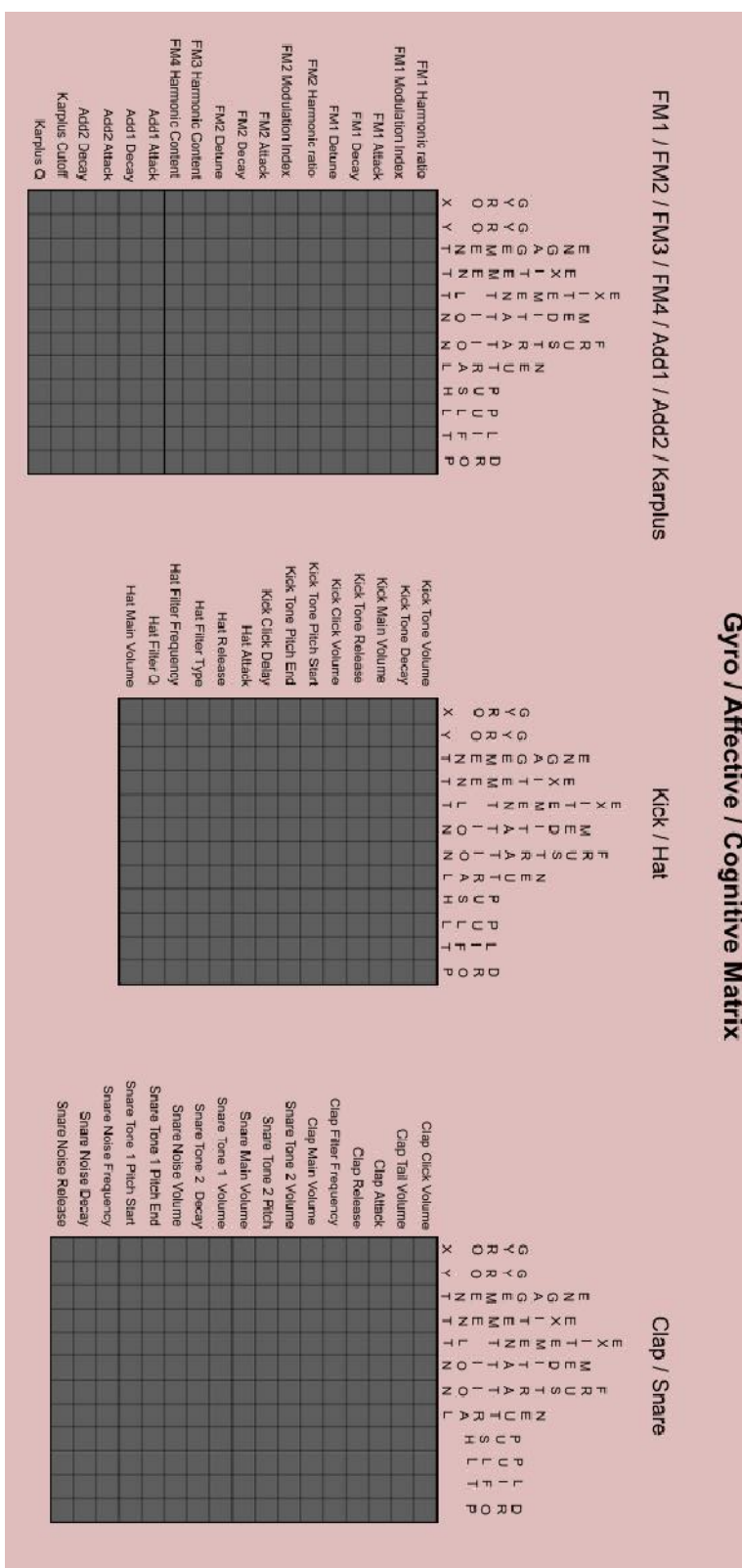


Fig.27 Primeira metade da primeira página de mapeamento do interface com os parâmetros do motor de áudio.

Expressive Matrix

FM1 / FM2 / FM3 / FM4 / Add1 / Add2 / Karplus

FM1 Harmonic ratio
FM1 Modulation Index
FM1 Attack
FM1 Decay
FM1 Detune
FM2 Harmonic ratio
FM2 Modulation Index
FM2 Attack
FM2 Decay
FM2 Detune
FM3 Harmonic Content
FM4 Harmonic Content

Add1 Attack
Add1 Decay
Add2 Attack
Add2 Decay
Karplus Cutoff
Karplus Q

Kick / Hat

Kick Tone Volume
Kick Tone Decay
Kick Main Volume
Kick Tone Release
Kick Click Volume
Kick Tone Pitch Start
Kick Tone Pitch End
Kick Click Delay
Hat Attack
Hat Release
Hat Filter Type
Hat Filter Frequency
Hat Filter Q
Hat Main Volume

Clap / Snare

Clap Click Volume
Clap Tail Volume
Clap Attack
Clap Release
Clap Filter Frequency
Clap Main Volume
Snare Tone 2 Volume
Snare Tone 2 Pitch
Snare Tone 1 Volume
Snare Tone 1 Pitch
Snare Noise Frequency
Snare Noise Decay
Snare Noise Release

Fig.28 Segunda metade da primeira página de mapeamento do interface com os parâmetros do motor de áudio

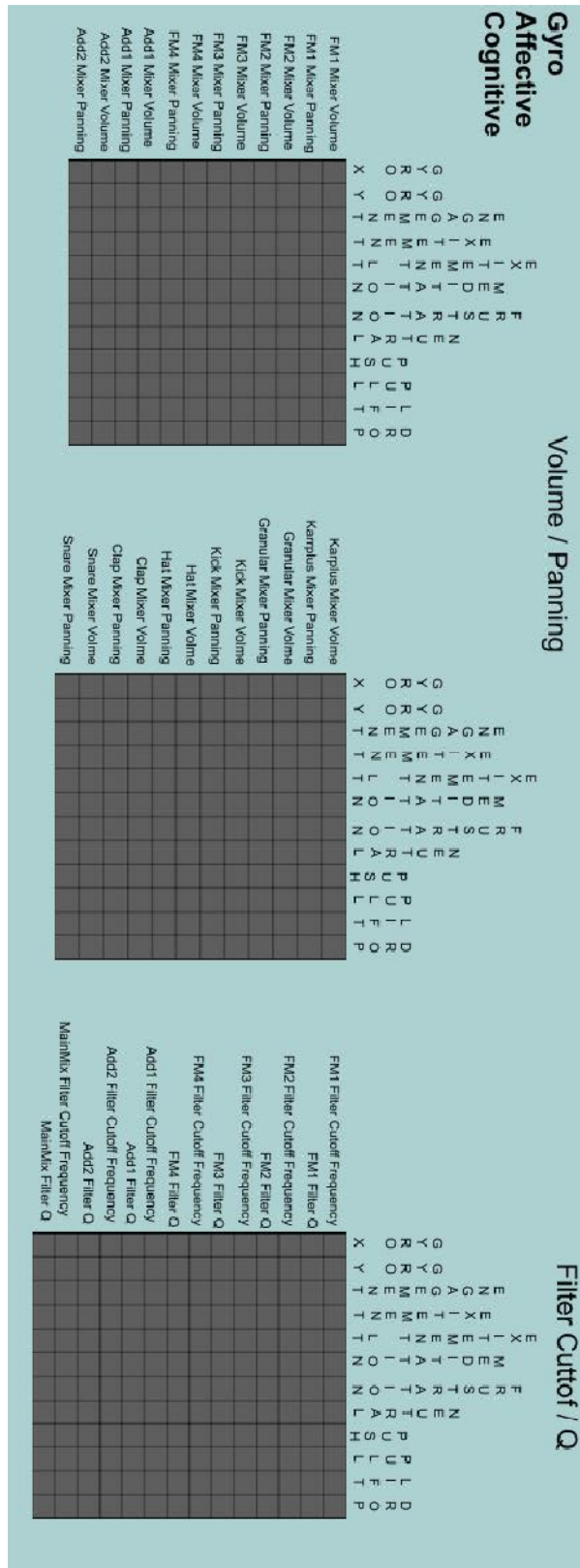


Fig.29 Primeira metade da segunda página de mapeamento do interface com os parâmetros do motor de áudio

Expressive Matrix

	L	R	S	M	I	R	K	F	E	W
F01 Mixer Volume	LE	RG	HT	BT	LI	FT	LI	FT	LI	FT
F02 Mixer Volume	FH	TL	BN	IN	ND	LI	DE	LI	DE	LI
F03 Mixer Volume	W	LI	BN	IN	ND	LI	DE	LI	DE	LI
F04 Mixer Volume	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K

Volume / Panning

	L	R	S	M	I	R	K	F	E	W
Karplus Mixer Volume	LE	RG	HT	BT	LI	FT	LI	FT	LI	FT
Karplus Mixer Panning	FH	TL	BN	IN	ND	LI	DE	LI	DE	LI
Granular Mixer Volume	W	LI	BN	IN	ND	LI	DE	LI	DE	LI
Granular Mixer Panning	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K

Filter Cutoff / Q

	L	R	S	M	I	R	K	F	E	W
F01 Filter Cutoff Frequency	LE	RG	HT	BT	LI	FT	LI	FT	LI	FT
F01 Filter Q	FH	TL	BN	IN	ND	LI	DE	LI	DE	LI
F02 Filter Cutoff Frequency	W	LI	BN	IN	ND	LI	DE	LI	DE	LI
F02 Filter Q	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K

Expressive Matrix

	L	R	S	M	I	R	K	F	E	W
F01 Mixer Volume	LE	RG	HT	BT	LI	FT	LI	FT	LI	FT
F02 Mixer Volume	FH	TL	BN	IN	ND	LI	DE	LI	DE	LI
F03 Mixer Volume	W	LI	BN	IN	ND	LI	DE	LI	DE	LI
F04 Mixer Volume	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K

Volume / Panning

	L	R	S	M	I	R	K	F	E	W
Karplus Mixer Volume	LE	RG	HT	BT	LI	FT	LI	FT	LI	FT
Karplus Mixer Panning	FH	TL	BN	IN	ND	LI	DE	LI	DE	LI
Granular Mixer Volume	W	LI	BN	IN	ND	LI	DE	LI	DE	LI
Granular Mixer Panning	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K

Filter Cutoff / Q

	L	R	S	M	I	R	K	F	E	W
F01 Filter Cutoff Frequency	LE	RG	HT	BT	LI	FT	LI	FT	LI	FT
F01 Filter Q	FH	TL	BN	IN	ND	LI	DE	LI	DE	LI
F02 Filter Cutoff Frequency	W	LI	BN	IN	ND	LI	DE	LI	DE	LI
F02 Filter Q	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K

Fig.30 Segunda metade da primeira página de mapeamento do interface com os parâmetros do motor de áudio.

Nadi Sequence and Note Matrix

Note Range / Randomization Type

FM1 Note Range
 FM2 Note Range
 FM3 Note Range
 FM4 Note Range
 Add1 Note Range
 Add2 Note Range
 Karpus Note Range
 Master Mode
 FM1 Random Type
 FM2 Random Type
 FM3 Random Type
 FM4 Random Type
 Add1 Random Type
 Add2 Random Type
 Karpus Random Type

Cellular Automata Rythm Assign

FM1 CA
 FM2 CA
 FM3 CA
 FM4 CA
 Add1 CA
 Add2 CA
 Karpus CA
 Kick CA
 Hat CA
 Clap CA
 Snare CA

Direct Trigger

FM1 Trigger
 FM2 Trigger
 FM3 Trigger
 FM4 Trigger
 Add1 Trigger
 Add2 Trigger
 Karpus Trigger
 Kick Trigger
 Hat Trigger
 Clap Trigger
 Snare Trigger

E X I M F
 N E T E R
 G A I T G
 Y R E M A
 O R E M T
 X Y N N L
 T T I O N
 T T I O N
 P U P
 L L L
 F F F
 P P P
 D R O P

Fig.31 Primeira metade da página de mapeamento do interface com os parâmetros da geração de eventos musicais.

The image displays three columns of MIDI mapping parameters, each with a corresponding empty grid box for assignment. The parameters are as follows:

- Column 1 (Left):**
 - FM1 Note Range
 - FM2 Note Range
 - FM3 Note Range
 - FM4 Note Range
 - Add1 Note Range
 - Add2 Note Range
 - Karplus Note Range
 - FM1 Random Type
 - FM2 Random Type
 - FM3 Random Type
 - FM4 Random Type
 - Adc1 Random Type
 - Adc2 Random Type
 - Karplus Random Type
- Column 2 (Middle):**
 - FM1 CA
 - FM2 CA
 - FM3 CA
 - FM4 CA
 - Add1 CA
 - Add2 CA
 - Karplus CA
 - Kick CA
 - Hat CA
 - Clap CA
 - Share CA
- Column 3 (Right):**
 - FM1 Trigger
 - FM2 Trigger
 - FM3 Trigger
 - FM4 Trigger
 - Add1 Trigger
 - Add2 Trigger
 - Karplus Trigger
 - Kick Trigger
 - Hat Trigger
 - Clap Trigger
 - Share Trigger

Each parameter list is followed by a grid box with 16 columns and 16 rows. The grid boxes are currently empty, indicating no mappings have been assigned.

Fig.32 Segunda metade da página de mapeamento do interface com os parâmetros da geração de eventos musicais.

LFO		FM1 / FM2 / FM3 / FM4								Add1 / Add2 / Karplus								Kick / Hat								Clap / Snare							
Matrix	1	LF								LF								LF								LF							
		1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
FM1 Harmonic ratio																																	
FM1 Modulation Index																																	
FM1 Attack																																	
FM1 Decay																																	
FM1 Detune																																	
FM2 Harmonic ratio																																	
FM2 Modulation Index																																	
FM2 Attack																																	
FM2 Decay																																	
FM2 Detune																																	
FM3 Harmonic Content																																	
FM3 C Frequency																																	
FM4 Harmonic Content																																	
FM4 C Frequency																																	
Karplus Cutoff																																	
Karplus Q																																	
Kick Tone Volume																																	
Kick Tone Decay																																	
Kick Main Volume																																	
Kick Tone Release																																	
Kick Click Volume																																	
Kick Tone Pitch Start																																	
Kick Tone Pitch End																																	
Kick Click Delay																																	
Hat Attack																																	
Hat Release																																	
Hat Filter Type																																	
Hat Filter Frequency																																	
Hat Filter Q																																	
Hat Main Volume																																	
Clap Click Volume																																	
Cap Tail Volume																																	
Clap Attack																																	
Clap Release																																	
Clap Filter Frequency																																	
Clap Main Volume																																	
Snare Tone 2 Pitch																																	
Snare Tone 2 Volume																																	
Snare Tone 1 Volume																																	
Snare Tone 1 Decay																																	
Snare Noise Volume																																	
Snare Tone 1 Pitch End																																	
Snare Tone 1 Pitch Start																																	
Snare Noise Frequency																																	
Snare Noise Decay																																	
Snare Noise Release																																	

Fig.33 Primeira metade da página de mapeamento dos LFO's com os parâmetros do motor de áudio.

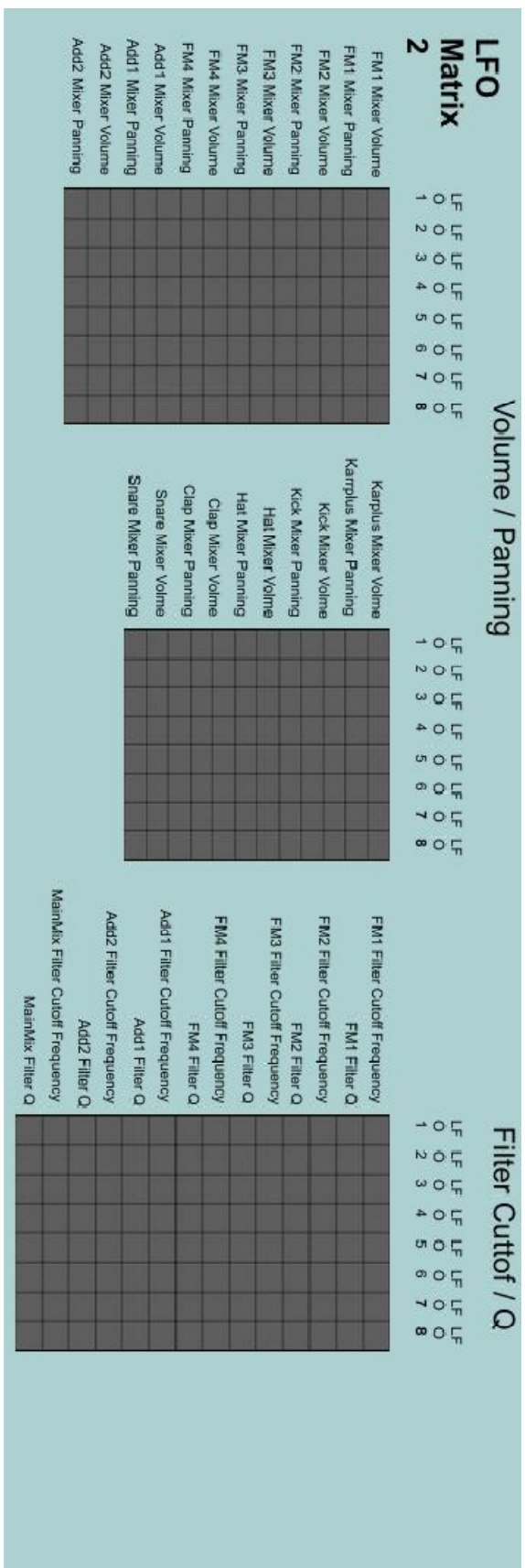


Fig.34 Segunda metade da página de mapeamento dos LFO's com os parâmetros do motor de áudio.