

Buddy – caixa de ritmos expandida

Alexandre Miguel Serafim Bento

**Trabalho de Projecto de Mestrado em
Artes Musicais: Estudos em Música e Tecnologias**

Alexandre Miguel Serafim Bento
Buddy – caixa de ritmos expandida, 2017

Agosto, 2017

Projecto apresentado para o cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Artes Musicais: Estudos em Música e Tecnologias, realizado sob a orientação científica do Professor Doutor João Soeiro de Carvalho e co-orientação do Professor Doutor Filipe Cunha Lopes.

Agradecimentos

Ao meu grande amigo Jorge Loureiro, pelo incondicional apoio técnico e pessoal.

Ao meu orientador, Professor João Soeiro de Carvalho, pela confiança, apoio e estímulo desde o início deste projecto.

Ao meu co-orientador, Professor Filipe Cunha Lopes, pela excelência do seu apoio científico, pedagógico e humano. A enorme relevância do seu apoio ao desenvolvimento deste projecto rapidamente se expandiu a outras áreas do meu trabalho como músico e pedagogo. Aqui lhe manifesto a maior consideração.

Aos meus pais pais, Carlos e Lucinda pelo que me proporcionaram nestes 47 anos de vida.

Ao meu filho João Tiago pelas lições de informática.

Aos meus amigos Jorge Franco, Miguel Santos e Helena Neves pelo incondicional apoio.

Este texto não foi escrito ao abrigo do novo acordo ortográfico.

RESUMO

Este projeto, baptizado com o nome *Buddy*, trata da construção de uma caixa de ritmos robótica, inspirada e baseada no modelo convencional da caixa de ritmos digital. Concretamente, foi concebida uma bateria musical robótica pela implementação de um sistema de solenóides controlados em tempo real por interfaces MIDI. O robot permite desenvolver o mesmo tipo de trabalho que as caixas de ritmos convencionais possibilitam (e.g. interpretar padrões rítmicos pré-compostos), favorecendo contudo uma experiência sonora acústica e, por conseguinte, uma experiência musical e sonora mais estimulante. Além da abordagem convencional que esta bateria robótica possibilita (e.g. tocar padrões rítmicos), este projecto prevê outras abordagens que possibilitam uma exploração artística e musical mais abrangente, por exemplo, pela implementação de ideias que promovam a interactividade (e.g. controlo da performance do robot pela análise áudio da performance do músico, controlo do robot via internet).

O desenvolvimento deste projecto teve como base a plataforma open-source Arduino e foi publicado e documentado online com acesso ao código fonte e aos esquemas electrónicos, permitindo assim que artistas e educadores sem formação em engenharia electrotécnica possam construir robots semelhantes para usar em contextos artísticos ou pedagógicos.

Palavras-chave: Robótica, Mecatrónica, Bateria, Caixa de Ritmos, Solenóides, Performance Musical, Sistemas Musicais Interactivos.

ABSTRACT

This project, named *Buddy*, deals with the construction of a robotic rhythm box, inspired and based on a conventional model of a digital rhythm box. More specifically, a robotic musical drum set was conceived through the implementation of a real-time automatic system of solenoids controlled via MIDI interfaces. The robot allows the development of the same type of approach that traditional rhythm machines enable (e.g. to interpret pre-composed rhythm patterns), favouring, however, an acoustic sonic experience, and therefore, a more stimulating sound and musical experience. Besides the conventional approach that this robotic drums allows (e.g. to play rhythm patterns), this project foresees other approaches that can enable a wider artistic and musical exploration, for example, by implementing ideas that promote interactivity (e.g. robot performance controlled by audio analysis of the musician's performance, internet robot control).

The development of this project was based on the Arduino open-source platform, and it was published and documented online with access to the source code and to the electronic schemes, allowing artists and educators without a formal education in electric and electronics engineering, to be able to build similar robots to use in artistic or pedagogical contexts.

Keywords: Robotics, Mechatronics, Drums, Drum Machine, Solenoids, Music Performance, Interactive Music Systems.

Índice

Âmbito	II
Agradecimentos.....	III
Considerações	IV
Resumo	V
Abstract	VI
Índice.....	VII
Índice de figuras	IX
Índice de tabelas	IX
Unidades e Acrónimos	X
1. Introdução	1
1.1. Introdução	1
1.2. Motivação e Problemática	2
1.3. Objectivos	3
2. Estado da Arte	5
2.1. Instrumentos Mecânicos e Electromecânicos	5
2.1.1. Da Antiguidade ao Século XIII	6
2.1.2. Séculos XIV - XVIII: dos Carrilhões às Caixas de Música	8
2.1.3. Séculos XIX - XX: Do Orchestrion à Electricidade	11
2.2. A Era Digital: de 1970 à actualidade	15
2.2.1. Caixas de Ritmos	15
2.2.2. A <i>Nova Mecatrónica</i>	16
2.2.3. Tendências Actuais da Mecatrónica sobre Instrumentos de Percussão	19
3. <i>Buddy</i> - caixa de ritmos expandida	25
3.1. Introdução	25
3.2. Elementos Fundamentais do <i>Buddy</i> : Arduino e Solenóides	26
3.3. Implementação	29
3.3.1. Introdução	29
3.3.2. Unidade Central	31
3.3.3. Módulos Electromecânicos	36
3.3.4. Optimização	39

4. Testes	41
4.1. Actuação e Controlo do <i>Buddy</i>	42
4.1.1. Latência	43
4.1.2. Taxa de Repetição	44
4.1.3. Consistência Dinâmica	45
4.1.4. Considerações Complementares	46
4.2. Testes Práticos e Criativos:: <i>Ser O Buddy, Tocar com o Buddy</i>	47
4.2.1. Performance	47
4.2.2. Tendências Actuais: Algoritmos e Interactividade	48
4.3. Trabalho Complementar.....	49
4.3.1. Adaptação dos Módulos Electromecânicos a outras baterias	49
4.3.2. Acção dos solenóides sobre outras fontes sonoras	50
4.3.3. “Half <i>Buddy</i> ”: derivações electroacústicas	51
5. Conclusões e Trabalho Futuro	53
5.1. Conclusões	53
5.2. Trabalho Futuro	54
Bibliografia	56
Anexos	59
Anexo A - Datasheet/Características do Arduino Mega	59
Anexo B - Datasheet/Características dos solenoides	60
Anexo C - Código Implementado	61
Anexo D - Descrição geral do hardware de apoio à execução do Projecto	66

Índice de figuras

Figura 1 - Esquema geral de operação do <i>Buddy</i>	4
Figura 2 - Flautistas automáticos através de fontes árabes	6
Figura 3 - Al-Jazari	8
Figura 4 - Kircher: órgão e carrilhão	9
Figura 5 - Autômatos do século XVIII	10
Figura 6 - Orchestrions	12
Figura 7 - Pianos Mecânicos	13
Figura 8 - Caixas de Ritmos do fabricante Roland	16
Figura 9 - Raes: instrumentos de percussão mecatrônicos	17
Figura 10 - Trimpin: idiofones robotizados	18
Figura 11 - Eric Singer	21
Figura 12 - Kapur: Machine Orchestra	22
Figura 13 - Novas tendências	23
Figura 14 - Esquema fundamental do <i>Buddy</i> e fluxo de sinal	25
Figura 15 - Elementos Fundamentais: Arduino Mega e solenóide	26
Figura 16 - Subsistemas do Buddy	30
Figura 17 - Diagrama de controlo da acção de cada solenóide.....	34
Figura 18 - Implementação da Electrónica	35
Figura 19 - Módulos solenóide-eixo-baqueta	37
Figura 20 - Módulos Electromecânicos	38
Figura 21 - Solenóide empurra o mecanismo dos pratos de choque.	39
Figura 22 - Buddy	40
Figura 23 - Controlo do Buddy	41
Figura 24 - Velocidade MIDI	46
Figura 25 - Módulo Electromecânico	50
Figura 26 - Testes complementares	51

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Variáveis e Indexação das notas	33
Tabela 2 - Implementação mecânica para os seis solenóides	36
Tabela 3 - Latência versus velocity e distância	44
Tabela 4 - Taxa de Repetição	45
Tabela 5 - Consistência Dinâmica	46

Unidades e Acrónimos

Unidades

“ - polegada
mm - milímetro
s - segundo
ms - milissegundo
m/s - metro por segundo
V – volt
A - ampere
mA - miliampere
dB - decibel

Acrónimos

AC – Corrente Alternada
bpm - beats per minute
DC - Corrente Contínua
DIN - Deutsches Institut für Normung
IDE - Integrated Development Environment
ME - Módulos Electromecânicos
MIDI - Musical Instrument Digital Interface
PWM - Pulse Width Modulation
UC - Unidade Central
USB - Universal Serial Bus

1 - INTRODUÇÃO.

1.1. Introdução.

São conhecidos e documentados desde há séculos, artefactos e mecanismos desenvolvidos especificamente para a reprodução mecânica da música. Sabe-se por exemplo, que no século IX, em Bagdad, os irmãos Banu Musa desenvolveram um flautista mecânico controlado por válvulas, a partir de conhecimentos rudimentares sobre hidráulica e mecânica (Farmer, 1931).

Embora durante o século XIX a mecanização de instrumentos tenha tido um impacto sociocultural de extrema relevância e se tenha desenvolvido em enorme escala, o surgimento da possibilidade de gravação e reprodução áudio atenuou o interesse nesses artefactos. Construir instrumentos mecânicos automáticos tornou-se muito dispendioso e desatualizado face às então novas possibilidades tecnológicas (Crowley, 1975; Kapur, 2005).

Nas últimas décadas, a crescente evolução da electrónica e da robótica tem potenciado o interesse pelo desenvolvimento de novos instrumentos musicais robóticos, atraindo a atenção da comunidade artística e académica. Esta tendência é exemplificada no trabalho de Eric Singer¹ (e.g. Orchestrion), Ajay Kapur² (e.g. Notomoton), Logos Foundation³ (e.g. orquestra de robots), bem como em projectos como o Gamelão Robótico da Casa da Música⁴, no Porto, ou o surgimento de concursos que apelam por novos instrumentos musicais (e.g. Guthman Musical Instrument Competition⁵), ou ainda o surgimento de interfaces que permitem uma “robotização” rápida (e.g. Dada Machines⁶). Esses projectos visam explorar formas novas de compor, tocar e improvisar música a partir das idiossincrasias dos robots explorando a performance

¹ <http://www.singerbots.com/>. Acedido a 4 de Agosto de 2017.

² <http://www.ajaykapur.com/>. Acedido a 4 de Agosto de 2017.

³ <http://logosfoundation.org/>. Acedido a 4 de Agosto de 2017.

⁴ <http://www.casadamusica.com/pt/digitopia/hot-spots/gamelao-robotico/?lang=pt>. Acedido a 4 de Agosto de 2017.

⁵ <https://guthman.gatech.edu/>. Acedido a 5 de Agosto de 2017.

⁶ <http://dadamachines.com/en/>. Acedido a 5 de Agosto de 2017.

musical. Actualmente, plataformas open-source como o Arduino (descrito em 3.2.), permitem que artistas sem formação em engenharia electrotécnica desenvolvam protótipos de instrumentos musicais robóticos (e.g. controle de solenoides), por preços económicos, sem castrar as possibilidades artísticas.

1.2. Motivação e Problemática.

Depois de uma adolescência nos anos 80 em que os caros pedais de efeitos representavam o auge da tecnologia a que a grande maioria das pessoas podiam ter acesso, tive o primeiro contacto com um conversor de MIDI⁷ para guitarra durante um seminário de Jazz em Tatabanya na Hungria em 1988. O fascínio pelos novos sons que podia tocar através da guitarra foi imediato e em 1989 adquiri um conversor para guitarra que me permitiu as primeiras experiências. Pouco depois já em 1992, adquiri uma Workstation⁸ Korg 01WFD - um sintetizador com teclado de 5 oitavas, que integra um versátil sequenciador MIDI de 16 pistas e possibilidade de armazenamento em disquetes de 3"5. A Workstation permitiu-me realizar inúmeros trabalhos de estudo e arranjos musicais podendo reproduzir e ouvir em simultâneo as notas, bem como executar inúmeros trabalhos remunerados em publicidade para rádio, música para teatro e acompanhamento de artistas/cantores em actuações ao vivo. As vantagens da tecnologia digital e principalmente a Workstation da Korg, passaram a fazer parte do meu quotidiano profissional.

Após 25 anos de actividade como músico e professor, apesar de ter trocado algum hardware por software idêntico, continuo até hoje, porém, a utilizar o mesmo conversor guitarra-MIDI da Korg, usando-o como interface de controlo em tempo real do *Buddy* - a bateria robótica desenvolvida neste projecto.

Embora na segunda metade do século XX se tenha assistido a uma

⁷ MIDI - Acrónimo de *Musical Instrument Digital Interface*, é um padrão protocolar de comunicação de dados e conexão, que permite a comunicação em tempo real de instruções como a nota a executar, sua intensidade e duração.

⁸ Workstation: designação genérica para dispositivos multifuncionais como teclados controladores MIDI com sintetizadores e sequenciadores integrados.

acentuada proliferação de investigações, protótipos e concepções de instrumentos e robots controlados digitalmente (2.2. A Era Digital), estas não se têm concentrado exclusivamente na abordagem da bateria convencional ou nas caixas de ritmos⁹ mas predominantemente na actuação sobre novos instrumentos. Além disso, o conceito e evolução tecnológica das caixas de ritmos digitais, tal como muitas outras tecnologias, desenvolveu-se ao ponto de quase todas serem virtuais, processadas num computador, dependendo da memória, processador e placa de som para conseguir sintetizar ou reproduzir sons (samples). Por tudo isto, considereei oportuno, útil, relevante e exequível a criação de um protótipo como o *Buddy*: concentrado e actuando sobre uma bateria musical, proporcionando novas abordagens e aplicações artísticas e pedagógicas.

Desta forma, e aliadas à problemática referida no parágrafo anterior, a abordagem empregue para desenvolver este projecto, veio integralmente ao encontro do meu desejo de procura de novas concepções para a performance de música, novos sons, novos conceitos musicais na composição e interpretação. Aliado aos meus desígnios musicais e artísticos, o universo da física, da mecânica e do electromagnetismo, que tanto me fascinam, tiveram também um impacto emocional relevante neste projecto.

1.3. Objectivos.

Este projecto teve o objectivo a criação do *Buddy*. O *Buddy* é essencialmente uma bateria musical robótica, materializada através da implementação de um sistema de solenoides, controlados em tempo real, através de interfaces MIDI. Como complemento, foi também integrado o controlo por sensores infravermelhos. A mediação entre o controlo e os actuadores é executada por um microcontrolador¹⁰, usando a plataforma Arduino (descrita em 3.2), que acciona a mecânica do robot (fig. 1).

⁹ Dispositivo dedicado à reproduzir padrões rítmicos pré-compostos.

¹⁰ Um Microcontrolador é um dispositivo electrónico programável que permite controlar actuadores (e.g. motores) e ser controlado por sensores.

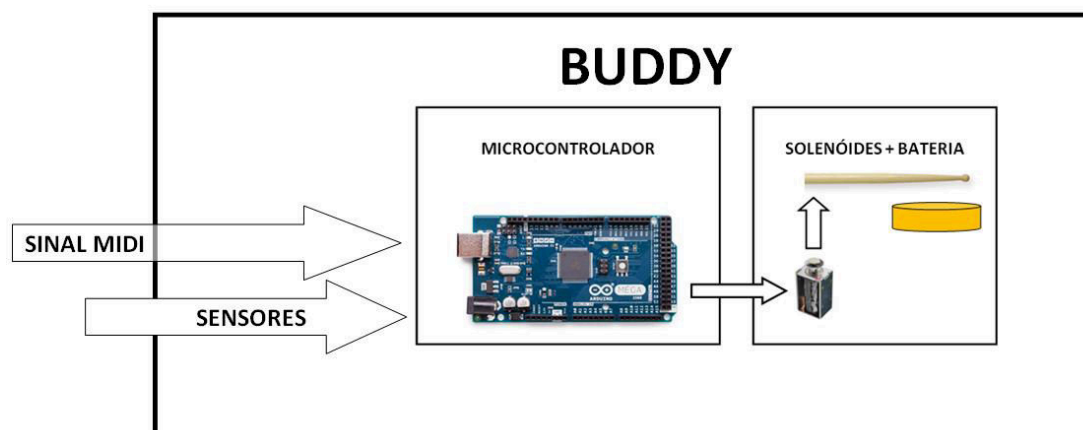


Figura 1 – Esquema geral de operação do *Buddy*. As setas representam o fluxo de sinal.

Através da implementação apresentada, consegui utilizar o robot como uma caixa de ritmos, sobre a qual podemos interagir de diversas formas. Deste modo, além de poder executar o mesmo tipo de função que as caixas de ritmo convencionais, o *Buddy* permite expandir e catalisar novas experiências sonoras e acústicas. Adicionalmente, permite explorar novas formas de interação entre músico e caixa de ritmos (i.e. robot), por exemplo: o controlo da performance do robot pela análise áudio; o controlo do robot através de algoritmos e software; a manipulação da performance do robot via Internet; o controlo do robot através de sensores (e.g. infravermelhos).

Além dos objectivos musicais, este projecto pretendeu ser: 1) de complexidade reduzida na implementação; 2) de fácil acessibilidade técnica; 3) de baixo custo. Neste cenário, acredito que o *Buddy* potencia futuras aplicações multidisciplinares nas áreas da música e das artes sonoras em geral, assim como da educação científica e tecnológica. No seio da comunidade global não especializada em música ou tecnologias, o *Buddy* pode fomentar o interesse, conhecimento e capacidades para desenvolver novos instrumentos e novas conjecturas conceptuais de índole artística e tecnológica.

Nos capítulos seguintes são apresentados o *Estado da Arte* (capítulo 2), a descrição e implementação do *Buddy* (capítulo 3), os *Testes* realizados (capítulo 4) e por fim as *Conclusões e Trabalho Futuro* (capítulo 5).

2. ESTADO DA ARTE.

Neste capítulo é apresentada uma síntese cronológica da evolução da mecânica e da automação aplicadas a instrumentos musicais. Deste modo, e no âmbito deste projecto, serão evidenciados os factos considerados mais relevantes em relação à concepção, materialização, programação e fornecimento de energia de instrumentos acústicos mecânicos automatizados. Em virtude da multiplicidade de sistemas e tendências decorrentes ao longo dos tempos, a apresentação dos temas aqui tratados, concentrar-se-á no âmbito da mecatrónica¹ actuante sobre instrumentos de percussão. No primeiro subcapítulo (2.1. Instrumentos Mecânicos e Electromecânicos) são enunciados os factos mais relevantes e documentados da Antiguidade até meados do século XX. No segundo, (2.2. A Era Digital: de 1970 à actualidade), são sumarizados os desenvolvimentos desde a década de 1970 até aos nossos dias.

2.1. Instrumentos Mecânicos e Electromecânicos.

A mecanização de instrumentos e dispositivos musicais acompanhou a evolução tecnológica e cultural ao longo da história. Embora seja verosímil atribuir os seus primórdios aos primeiros milénio A.C., foi através dos gregos (séculos II - III A.C.) árabes (séculos IX – XII) que nos chegaram documentos ou traduções (Farmer, 1931) devidamente conservados. Recordemos que durante o primeiro milénio A.C. algumas civilizações manifestavam já um significativo desenvolvimento social e tecnológico que se traduzia em aspectos tão diversos como a cunhagem de moeda, sistemas de irrigação, construção de edifícios, medição de distâncias e previsões astronómicas.

¹ Mecânica controlada pela electrónica.

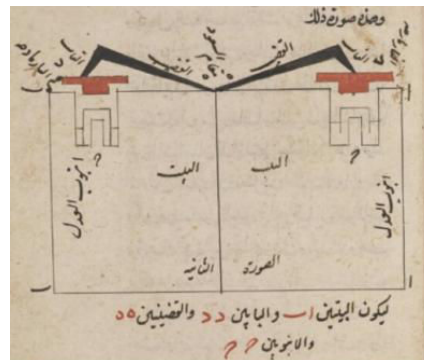
2.1.1. Da Antiguidade ao Século XIII.

. Arquimedes de Siracusa - matemático, físico, engenheiro e astrónomo do século III A.C. - deixou uma marca indelével nas áreas da hidrostática, da geometria, da pneumática, da mecânica e da hidráulica. Através de traduções árabes (Al-Jazari, 1206) de um tratado sobre uma espécie de clepsidra (simplicadamente, um relógio de água), chegou-nos a descrição de um automatismo musical humanoide que produziu (Nadarajan, 2007). O automatismo completamente automatizado (Farmer, 1931) consistia fundamentalmente numa variante de clepsidra que controlava o fluxo de ar actuante dentro de um tubo (fig. 2a). Em suma, a acção é hidráulica em relação ao fornecimento de energia e pneumática em relação à actuação sobre o instrumento (Farmer, 1931).

Já Apolónio de Perga (século II A.C.), matemático e astrónomo, desenvolveu entre outros dispositivos (Farmer, 1931), dos quais destaco um sistema de reabastecimento de água (através de um sistema similar aos sifões) para que os dispositivos mecânicos conseguissem ser autónomos, dispensando a intervenção humana no reabastecimento (figura 2b).



(a)



(b)

Figura 2 - *Flautistas automáticos* através de fontes árabes: a) dispositivo de Arquimedes; b) *flautista* de Apolónio - descrição parcial. Fontes: (a) British Museum MS23391 f. 20 v. (Archimedes & Apollonius, n.d.); (b) British Museum MS23391 (Archimedes & Apollonius, n.d.) f. 22 v.

Heron de Alexandria viveu no século I e realizou também desenvolvimentos excepcionais nas áreas da matemática e da mecânica. No seu tratado *Pneumatica*, descreve diversos dispositivos musicais mecânicos accionados por água e ar (Farmer, 1931), nomeadamente “pássaros cantores”.

Infere-se através dos trabalhos e literatura até agora referidos que os gregos se preocupavam com o carácter humanoide nas suas concepções proto-robóticas.

Posteriormente, evidenciaram-se os trabalhos realizados pelos três irmãos Banu Musa durante o século IX, em Bagdad (Farmer, 1931; Nadarajan, 2007). O seu legado inclui estudos sobre matemática, mecânica e geometria. Desenvolveram um flautista mecânico programável que controlava os orifícios da flauta, ao invés dos trabalhos antecessores conhecidos em que só mecanizavam o fluxo de ar (Farmer, 1931). No mecanismo dos Banu Musa (Farmer, 1931), um cilindro de madeira com pinos accionava as válvulas de um órgão hidráulico. Este mecanismo é hoje em dia referenciado como *o primeiro mecanismo programável* (Koetsier, 2001; Krzyzaniak, 2012). Parece evidente que o legado dos Banu Musa (Farmer, 1931; Krzyzaniak, 2012) alicerçou quase todos os automatismos musicais nos séculos seguintes, concretamente quanto à acção hidráulica no fornecimento de energia e estabilização e quanto ao suporte (cilindros e rodas dentadas).

Al-Jazari, cientista do século XIII, deixou-nos também um legado profícuo sobre automatismos mecânicos (Farmer, 1931) (Nadarajan, 2007). Entre várias referências, Al- Jazari descreveu uma clepsidra complexa que controla vários instrumentos de percussão através de figuras humanoides. Entre outros subsistemas deste mecanismo, existiam quatro percussionistas humanoides cujos braços e pernas ocas articuladas albergavam cabos de cobre para os fazer actuar. A obra de Al-Jazari descreve também flautas de acção perpétua sob conceitos já utilizados na antiga cultura grega (Farmer, 1931).

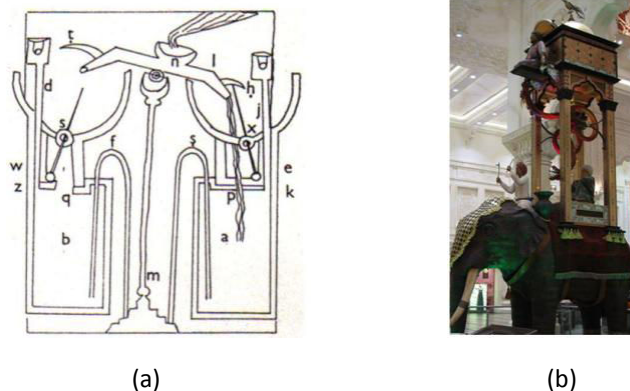


Figura 3 - Al-Jazari: a) Flautista perpétuo - descrição parcial; b) *Relógio-Elefante*: reprodução contemporânea. Fontes: (a) Al-Jazari (1206); (b) <http://www.muslimheritage.com/article/automation-and-robotics-muslim-heritage-cultural-roots-al-jazaris-mechanical-systems>

2.1.2. Séculos XIV-XVIII: dos Carrilhões às Caixas de Música.

Embora a partir do início do século XII, existam referências a proto carrilhões na Holanda (Fowler, 1966), é na Catalunha (c. 1300) que encontramos as primeiras referências devidamente documentadas (Farré-Olivé, 1974). O carrilhão instalado na Catedral de Strasbourg (Crowley, 1975) em 1352 era já um mecanismo musical programável em cilindro de madeira, e na sua sequência disseminaram-se e proliferaram estes automatismos musicais (Koetsier, 2001). Durante o século XIV a maioria dos carrilhões consistia num conjunto mecanizado de sinos, cuja performance era programada em rodas ou cilindros dentados (Farmer, 1931; Koetsier, 2001). Ao que parece as rodas ou cilindros seriam integralmente amovíveis e substituídas ao pretender-se modificar a música (Koetsier, 2001). A partir de 1530 é referenciada a introdução de rodas e cilindros com pinos amovíveis (Koetsier, 2001). Durante os séculos XVI e XVII a programação tornou-se então uma prática bastante corrente e os carrilhões atingiram o auge da sua popularidade na Flandres, na Bélgica e na França (Haspels, 1987). Michael Haydn e Handel compuseram música para carrilhão (Crowley, 1975).

Durante o século XVII notabilizou-se (Krzyzaniak, 2012) a obra do físico e matemático Athanasius Kircher (1601-1680). No seu tratado *MVSVRGIAE*

VNIVERSALIS (Kircher, 1650), incluiu um capítulo dedicado a autómatos musicais no qual descreve desenvolvimentos realizados sobre a acção hidráulica - quer no controlo quer no fornecimento de energia - bem como sobre os suportes à proto programação (em cilindros com pinos). Através das descrições do próprio Kircher, inferem-se as semelhanças à engenharia dos Banu Musa (Farmer, 1931), ainda que cerca de oito séculos mais tarde.

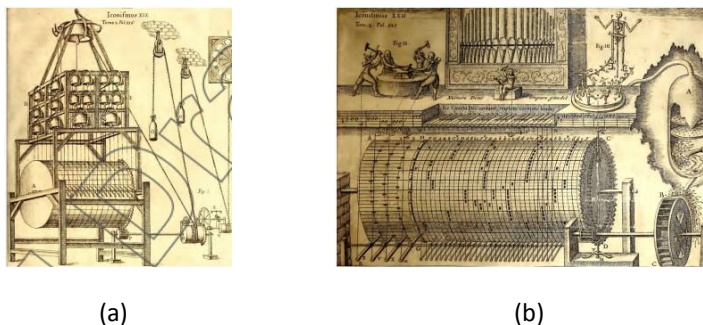


Figura 4 - Kircher: descrições parciais. a) órgão hidráulico; (b) carrilhão. Fonte: Kircher (1650).

A partir do século XVIII e na sequência dos avanços científicos, tecnológicos e conceptuais, os instrumentos musicais mecânicos programáveis foram alvo de um desenvolvimento e proliferação sem precedentes. Jacques de Vaucanson, Friedrich Kaufman e Pierre Jaquet-Droz (Krzyzaniak, 2012) desenvolveram mecanismos cada vez mais complexos. Concretamente Vaucanson - relevante inventor francês do século XVIII - desenvolveu um complexo mecanismo (figura 5a) que operava sobre uma flauta transversal, bem como sobre instrumentos de percussão (Haspels, 1987; Krzyzaniak, 2012). Além da mecanização orientada para a produção de sons musicais, o conjunto de mecanismos de Vaucanson (Maingot, 1959) era dotado de complexos sistemas dedicados ao carácter humanóide da performance (e.g. movimentos faciais, movimento dos lábios). Segundo Krzyzaniak (2012), o flautista mecânico de Vaucanson poderá ter sido o primeiro automatismo musical a actuar sobre um instrumento contemporâneo convencional i.e., construído para ser tocado por humanos.

O suíço Pierre Jaquet-Droz (1720-1790) foi outro incontornável vulto (Maingot, 1959) da relojoaria e da mecânica do século XVIII. Jaquet-Droz concebeu relevantes mecanismos dos quais destaco a *Musicienne* que se

encontra actualmente no Musée d'art et d'histoire Ville de Neuchâtel² na Suíça (figura 5b). O dispositivo concebido cerca de 1770, consiste essencialmente numa boneca mecanizada cujos dedos actuam sobre um pequeno órgão. Além disso, o mecanismo reproduzia (Maingot, 1959) também movimentos humanos (e.g. da cabeça). A concepção mecânica nesta fase da relojoaria conseguia conceber cada vez mais pequenos, engenhosos e precisos dispositivos. Do trabalho de Pierre Jaquet-Droz resulta a actual empresa suíça Jaquet Droz³, produtora de relógios de luxo.



Figura 5 – Autómatos do século XVIII: a) Autómato de Vaucanson; b) Musicienne de Jaquet-Droz. Fontes: (a) Vaucanson (1742); (b) <http://www.mahn.ch/collections-arts-appliques-automates> Acedido em 22 de Julho de 2017.

Os conhecimentos sobre electricidade e o electromagnetismo, ainda que nos seus primórdios, começam a integrar-se na construção de instrumentos musicais. A partir da segunda metade do século XVIII são concebidos (Holmes, 2012) o Denis D'or (por Václav Prokop Diviš, c. 1748), o cravo eléctrico (por Jean-Baptiste Delaborde, c. 1759) e o cravo magnético (por Bertholon, c. 1785). Graças às emergentes tecnologias afectas ao electromagnetismo e à energia eléctrica, as tecnologias do som e da música foram privilegiadamente pioneiras nos benefícios subsequentes.

Na segunda metade do século XVIII é clara a expansão (Crowley, 1975) da indústria de autómatos musicais. Dedicados ou não, parte integrante de complexos relógios e outros mecanismos de luxo à época, proliferam em

² <http://www.mahn.ch/> Acedido a 7 de Agosto de 2017.

³ <http://www.jaquet-droz.com/en> Acedido a 7 de Agosto de 2017.

formatos como *pássaros cantores* (*singing birds* ou *serenettes*), relógios musicais ou mecanismos de carácter androide. A substituição da energia hidráulica e pesos por molas trouxe consigo a miniaturização (Cangueiro, 2007) e a produção em massa. No final deste século é notória a relevância sociocultural destes mecanismos (Crowley, 1975) que se traduziu numa enorme expansão e popularização destes mecanismos, concretamente as *caixas de música* - dispositivos de reduzida dimensão accionados *por corda* que ainda hoje se encontram em produção e no mercado⁴. Refira-se a relevante contribuição de Antoine Favre que implementou em 1796 um sistema de lâminas vibrantes que catapultou a produção de caixas de música em inúmeros formatos (Crowley, 1975). As caixas de música com suporte em cilindro metálico implantaram-se extraordinariamente na sociedade a partir daqui até ao início do século XX como veremos em seguida.

2.1.3. Séculos XIX – XX: Do Orchestrion à Electricidade.

A partir do início do século XIX surge o conceito de Orchestrion⁵. O Panharmonicon, criado cerca de 1805 por Johann Nepomuk Mälzel é considerado pioneiro e teve o privilégio de Beethoven ter composto para ele (Koetsier, 2001). Os novos dispositivos musicais programáveis através de cilindros ou discos incluíam cada vez mais desenvolvidas combinações de “orquestra”. Instrumentos deste tipo sucederam-se, caracterizando-se e distinguindo-se pela acção mecânica e pneumática que actuava em tubos, membranas, cordas e idiofones diversos (figura 6). Eram máquinas de complexa e alta tecnologia à época, o que se traduzia em elevado custo e subsequente reduzida produção, daí poucos exemplares terem chegado até nós.

⁴ E.g. <https://pt.aliexpress.com/category/201000234/music-boxes.html> Acedido a 6 de Agosto de 2017.

⁵ designação genérica adoptada para os *novos* dispositivos musicais programáveis, que incluíam diferentes combinações de “orquestras” – instrumentos de corda, sopro e percussão.



Figura 6 – Orchestrions: (a) Polyphon; (b) Violino Mills. Fonte: <http://museudamusica mecanica.com/a-colecao/> Acedido em 23 de Agosto de 2017.

O dispositivo do francês Marrepe – um violinista mecânico – apresentado em 1837 no Conservatório de Paris, é para Krzyzaniak (2012) a primeira referência a uma proto-interacção com músicos . O mecanismo apresentava elevadas potencialidades ao nível da dinâmica e da rapidez de execução e teve uma exposição mediática na sua época. Durante a década de 1840, Manzetti (Krzyzaniak, 2016) construiu um flautista mecânico no qual se reporta, pela primeira vez em 1866, a utilização de uma bateria eléctrica para o fornecimento de energia (Krzyzaniak, 2012).

Na segunda metade do século XIX surgem os pianos automáticos de Fourneaux (1863) e de Edwin Scott Votey (1876) – a pianola⁶, programada em papel perfurado e alimentada através de pedais (Crowley, 1975; Kapur, 2005). Em 1886 em Leipzig, Paul Lochman introduziu o disco metálico como suporte (Crowley, 1975). O advento foi um rastilho que face ao seu menor custo de produção e rapidamente transformou, potenciou e democratizou ainda mais os autómatos musicais mecânicos agora providos de discos metálicos amovíveis e resistentes. Nesta época a maioria dos autómatos musicais actuava por acção mecânica de uma manivela – quer sob acção directa, quer dando corda a uma mola. Ainda na década de 1890, Edwin Welte desenvolveu um piano automático programável através de cartões perfurados, tecnologia que Joseph-Marie Jacquard tinha vindo a introduzir em teares (Koetsier, 2001). Debussy, Gershwin e Straninsky vieram a gravar sobre suportes em papel perfurado (Fowler, 1966).

⁶Da “pianola” de Votey derivou à escala global o neologismo homónimo.

O início da comercialização do suporte em rolo de papel perfurado - em substituição do cilindro - em 1892 (Canguero, 2007) abriu uma nova era e os teclados musicais estabeleceram-se então até ao século XX como um produto de topo do ponto de vista tecnológico, financeiro e cultural. Industrializou-se a sua produção e diferentes tipos de pianola proliferavam nas ruas, em bares, igrejas e domicílios (Dolan, 2009). O fornecimento de energia destes instrumentos baseava-se essencialmente em sistemas de pedais (acção pneumática) e manivelas (acção mecânica) (Crowley, 1975; Buchner, 1978). A programação em rolos de papel industrializou-se em paralelo porém, a ascensão dos emergentes dispositivos de gravação e reprodução de som viriam a remeter as pianolas e os orchestrions para um veloz declínio nas primeiras décadas do século XX (Koetsier, 2001; Kapur, 2005). Neste âmbito e em Portugal, além dos automatismos presentes no acervo do Museu da Música em Lisboa⁷, foi inaugurado em 2016 o Museu da Música Mecânica⁸. A colecção (figura 7) abrange o período de finais do Séc. XIX até à década de 1930 e integra mais de 600 peças cuja quase totalidade se encontra em condições de funcionamento. Entre a segunda metade do século XIX e o início do século XX, proliferou a produção e comércio de mecanismos musicais programáveis. Em conjunto proliferou a concepção e proliferação dos suportes à programação: cilindros e discos de madeira e metal (Canguero, 2007).



Figura 7 - Pianos mecânicos: a) Spencer, cuja acção pneumática é efectuada por pedais; (b) Bastringue, cuja manivela dá corda a uma mola. Fonte: acervo do Museu da Música Mecânica⁹.

⁷ www.museudamusica.pt Acedido a 8 de Agosto de 2017.

⁸ <http://museudamusicamecanica.com> Acedido a 8 de Agosto de 2017.

⁹ Colecção do Museu da Música Mecânica: <http://museudamusicamecanica.com/a-colecao/> Acedido a 8 de Agosto de 2017.

Refira-se que em 1886, no foro mecânico, Eisenmann tinha introduzido solenóides¹⁰ num piano para criar um *sustain infinito* (McElhone, 2011) ou seja, conseguir que as cordas do piano se mantivessem em vibração por tempo indeterminado, após o ataque inicial.

Na sequência dos factos relatados, a proliferação de autómatos musicais atingiu o seu auge no século XX. Conceberam-se e comercializaram-se inúmeros dispositivos musicais automatizados (e.g. charuteiras, guarda-joias), muitos deles com moedeiro para serem utilizado em lugares públicos como por exemplo em gares ferroviárias e cafés (Crowley, 1975; Canguero, 2007).

Por volta de 1905 (McElhone, 2011), Ludwig Hupfield introduziu um sistema mecânico sobre um piano que permitia o controle da dinâmica (i.e. *forte* vs *piano*) e da variação de *tempo* (i.e. andamento) da interpretação gravada previamente por um instrumentista através de meios mecânicos (McElhone, 2011; Kapur, 2005).

O século XX inicia-se com a proliferação das recém criadas tecnologias de energia eléctrica, bem como da gravação e reprodução de som. A invenção do fonógrafo (1887) e a proliferação das novas tecnologias de som e de electricidade, conduziram a um declínio acentuado dos instrumentos mecânicos (Murphy, 2014). Aliados à Revolução Industrial¹¹, ao colapso da Bolsa de Nova Iorque e ao final da 1ª Guerra Mundial, as tecnologias mais recentes foram catalisadas pela emergente classe média ávida de lazer e cultura. Durante a década de 1930, proliferou e massificou-se a produção de dispositivos de reprodução e o interesse pela mecânica dos dispositivos musicais só ressurgiria significativamente a partir da década de 1970 (ver 2.2.). Contudo, o declínio não representou extinção e, ainda que em menor escala, continuaram a ser desenvolvidos projectos inovadores como o *violinista automático* de Raman (Raman, 1920).

¹⁰ Um solenóide é um dispositivo que consiste num êmbolo metálico dentro de uma espiral também metálica; ao deixar passar corrente eléctrica pela espiral, o êmbolo é imediatamente repelido para fora da bobine devido à sua polarização, provocando deste modo a acção mecânica.

¹¹ Período histórico (entre c. 1760 e c. 1840) que essencialmente se traduziu na substituição dos métodos de produção artesanal pela utilização de máquinas.

À proliferação dos dispositivos eléctricos e electrónicos, seguiu-se um período de algumas décadas em que a actuação mecânica foi remetida para segundo plano. Surgiram e proliferaram então inúmeros instrumentos eléctricos e electrónicos, maioritariamente controlados através de teclados similares ao do piano (Kapur, 2005; Murphy, 2014).

2.2. A Era Digital: De 1970 à actualidade.

2.2.1. Caixas de Ritmos.

Na últimas duas décadas do século XX, as caixas de ritmos disseminaram-se como hardware autónomo e parte integrante de teclados e pianos electrónicos. As emergentes tecnologias cada vez mais rapidamente se tornaram acessíveis e produzidas em maior escala. Embora os mecanismos musicais programados já existissem há muito tempo (e.g. carrilhões), é hoje em dia praticamente unânime que o conceito de caixa de ritmos¹² surgiu em 1930, através do Rhythmicon ou Polyrhythmophone, fruto da colaboração entre o compositor Henry Cowell e cientista Lev Termen (Nikitin, 2012). O dispositivo eléctrico, era controlável através de um pequeno teclado e produzia padrões rítmicos cujo *tempo* (i.e. velocidade, bpm¹³) era controlável.

Desde então, desenvolveram-se funcionalidades computacionais e capacidade de armazenamento (i.e. memória) de amostras (i.e. samples). A introdução e disseminação de software que emulava caixas de ritmos acabou por se tornar mais popular do que as caixas de ritmos dedicadas (produzidas em hardware), visto que o software além de ser de baixo custo beneficia também de mobilidade (Murphy, 2014). Os fabricantes de teclados electrónicos começaram a incluir nos seus produtos caixas de ritmos que, ora possibilitavam o acompanhamento rítmico automático, no caso de uma performance, ora serviam simplesmente como suporte rítmico para estudo. Durante as duas últimas décadas do século XX fabricantes mundiais como a Roland (figura 8),

¹² Sob o conceito de dispositivo capaz de reproduzir padrões rítmicos pré-compostos.

¹³ bpm: beats per minute; batidas (pulsações) por minuto.

Yamaha e Korg desenvolveram modelos (em hardware, dedicados e/ou integrados em teclados musicais multifuncionais) de síntese sonora e amostragem (i.e. sampling). As caixas de ritmos digitais tornaram-se assim parte integrante da performance de uma imensidão de pianistas, organistas ou guitarristas em todo o mundo, principalmente em clubes, hotéis ou bares, numa perspectiva de contenção logística e económica.



Figura 8 – Caixas de ritmos do fabricante Roland: a) CR-78 de 1978; b) TR-808 de 1980. Fontes: a) <https://www.attackmagazine.com/reviews/the-best/top-ten-classic-drum-machines/5/> Acedido em 24 de Julho de 2017. b) <https://www.attackmagazine.com/reviews/the-best/top-ten-classic-drum-machines/10/> Acedido em 24 de Julho de 2017.

2.2.2. A Nova Mecatrónica.

Durante o final da década de 1960, surgiram novos movimentos artísticos que congregavam a mecânica e a electrónica, contrapondo-se à predominante utilização de recursos electrónicos e digitais (Krzyzaniak, 2012). A partir de 1970, e com importância fulcral neste domínio (Murphy, 2014), nasce a Logos Foundation (1968, Ghent) por iniciativa de Godfried-Willem Raes, e, a partir da década de 1980, assiste-se também ao trabalho do alemão Gerard Trimpin.

Raes, fundador da Logos Foundation, protagonizou desde a década de 1970 um papel determinante (Kapur, 2005; Murphy, 2014) na concepção de novas tecnologias e criação de novas tendências na música, através de instrumentos mecanizados programáveis e interactivos. Em 1972 iniciou a utilização da mecatrónica em esculturas sonoras (Raes, 1992), usando a electrónica e microcontroladores para fazer actuar dispositivos musicais mecânicos. Desenvolveu um protocolo de comunicação antes do surgimento

do MIDI, que veio a integrar posteriormente nos seus instrumentos. Criou, desde então, os mais de 40 instrumentos (dos quais mais de 20 são instrumentos de percussão robotizados) que integram a "The Man and Machine Robot Orchestra" (Maes, 2011). A orquestra integra aerofones (e.g. Autosax¹⁴), cordofones (e.g. Aeiou¹⁵), percussão e geradores de ruído automatizados (Raes, 2017). A mecatrónica de Raes (figura 9) em *The Man and Machine Robot Orchestra* utiliza a acção de solenóides de diversos tipos (e.g. rotativos e lineares) e os compositores portugueses Carlos Guedes e Jaime Reis vieram já neste século a produzir composições interactivas para este colectivo (Maes, 2011).



(a)



(b)

Figura 9 - Raes: instrumentos de percussão mecatrónicos. a) Snare 2¹⁶; b) Rotomoton¹⁷. Fontes: a) http://logosfoundation.org/instrum_gwr/snar2.html; b) http://logosfoundation.org/instrum_gwr/rotomoton.html Acedido em 22 de Julho de 2017.

Gerhard Trimpin é outra referência incontornável desde finais do século XX. Nasceu na Alemanha em 1951 e radicou-se nos E.U.A. em 1980. Tem explorado, desenvolvido e criado obras no âmbito das esculturas sonoras e da especialização promovendo a interdisciplinaridade entre a electrónica e a mecânica ao serviço da música. Durante a década de 1980, Trimpin criou também o seu protocolo para a comunicação entre instrumentos antes de ser padronizado o MIDI na década de 1980 (Kapur, 2005) e utilizou microcontroladores para acionar dispositivos electromecânicos, nomeadamente

¹⁴ um saxofone acústico automatizado e controlado por computador (Raes, 2017).

¹⁵ http://logosfoundation.org/instrum_gwr/aeio.html Acedido em 24 de Julho de 2017.

¹⁶ Fonte: http://logosfoundation.org/instrum_gwr/snar2.html Acedido em 24 de Julho de 2017.

¹⁷ Fonte: http://logosfoundation.org/instrum_gwr/rotomoton.html Acedido em 25 de Julho de 2017.

solenóides. Tal como Raes, tem vindo a concentrar o seu trabalho na produção de sons acústicos (figura 10), evitando a síntese ou amplificação (Maes, 2011; Murphy, 2014). Utiliza actualmente nas suas performances uma considerável multiplicidade de sistemas, operando actuadores e sensores em tempo real.

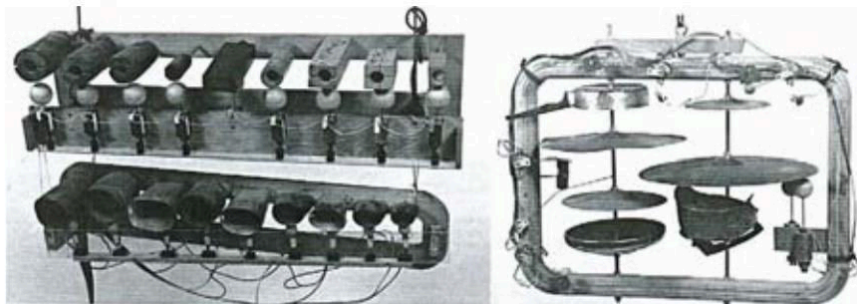


Figura 10 - Trimpin: idiofones robotizados. Fonte: Kapur (2005).

Durante a década de 1990, Trimpin e Nicolas Baginsky¹⁸ (Kapur, 2005) desenvolveram *percussões* e *guitarras robóticas* cujo funcionamento integrava a acção de solenóides. Sergi Jordà, actualmente professor na Universitat Pompeu Fabra¹⁹ em Barcelona, tem vindo a desenvolver desde o final da década de 1990 o projecto *Afasia: the Ultimate Homeric One-man-multimedia-band* (Jordà, 2002). Afasia é um quarteto robótico, baseado no controlo electrónico sobre dispositivos de acção pneumática. Inclui: dois cordofones, um aerofone e um timbalão percutido por duas baquetas robotizadas. Através de sensores, botões e potenciómetros, o performer interage via MIDI e em tempo real com parâmetros como a transposição (de melodias pré-compostas), a variação de padrões e *tempo* (i.e. velocidade da execução) ou a definição de escalas ou acordes de música pré-programada via MIDI (Jordà, 2002).

Paralelamente, e ainda durante o final do século XX, disseminaram-se desenvolvimentos relevantes no domínio da informática que abriram as portas para a disseminação de sistemas interactivos. Graças à acessibilidade da informática, da electrónica ou do protocolo de dados e energia USB²⁰, proliferou a actuação interdisciplinar entre sistemas de som, música, luz e

¹⁸ <http://www.the-three-sirens.info/binfo.html> Acedido em 22 de Julho de 2017.

¹⁹ <http://www.dtic.upf.edu/~sjorda/> Acedido em 22 de Julho de 2017.

²⁰ Acrónimo de Universal Serial Bus.

imagem, podendo ser controlados por sensores de vários tipos como infravermelhos, ultrassons, de humidade ou temperatura, giroscópios ou acelerómetros.

2.2.3. Tendências Actuais da Mecatrónica sobre Instrumentos de Percussão.

Neste início de século e graças à acessibilidade e rapidez no acesso à informação através da Internet, a comunidade tecnológica e artística interage online de forma intensa e contínua. São incontáveis os sistemas robóticos ou mecatrónicos aplicados à música em diversificados, complexificados e multidisciplinares sistemas performativos. A proliferação e baixo custo dos microprocessadores, microcontroladores²¹ e sensores, permitiram e catalisaram novas criações numa escala sem precedentes (e.g. drum robot português²²). A mecatrónica emancipou-se e desenvolveu-se metodologicamente nas artes sonoras e musicais. A acessível concepção, programação e manipulação têm vindo a proporcionar que amadores e profissionais de áreas tecnológicas e artísticas (da música e do som) possam concretizar sistemas musicais originais e personalizados. Neste âmbito, qualquer sistema que integre simples electrónica para controlar actuadores mecânicos (e.g. solenóides) abre portas infinitas.

Actualmente são incontáveis as novas criações baseadas na mecatrónica musical. Ainda que não possa inumerar todos os factos relevantes nesta assumida síntese da mecatrónica aplicada à música como elemento contextualizador do *Buddy*, considero incontornável citar trabalhos como: *Captured by Robots*²³ (um projecto que inclui percussões robotizadas desde 1997); o Ensemble Robot²⁴ de Christine SouthWorth e Leila Hanson; os robots

²¹ Microcontrolador é neste âmbito um dispositivo corrente e económico no mercado global que inclui portas de saída e entrada de sinal analógico e digital, além do próprio microcontrolador programável. Este tipo de tecnologia tem vindo a implementar-se de forma consistente como é tratado em 3.2. Elementos Fundamentais do *Buddy*.

²² <https://www.youtube.com/watch?v=AYqZHqw63r4> Acedido em 20 de Julho de 2017.

²³ <http://www.capturedbyrobots.com/> Acedido em 20 de Julho de 2017.

²⁴ <http://ensemblrobot.com/> Acedido em 22 de Julho de 2017.

de Sarah Angliss²⁵; a *RobOrchestra* da *Carnegie Mellon University*²⁶; os robots dos projectos Felix's Machines²⁷ e *The Mechanical Orchestra of França Xica*²⁸; o *Index Boogie* de Nick Yulman²⁹; o *robotic musicianship* de Gil Weinberg (Driscoll, 2006); as *Expressive Machines Musical Instruments* de Troy Rogers³⁰;

De relevância também neste domínio, são os Amophic Robot Works de Chico MacMurtrie (Kapur,2005) nomeadamente no desenvolvimento de *mãos robóticas* que actuam sobre instrumentos de percussão. Artistas em áreas populares como o Rock integram a robótica e a mecatrónica. Por exemplo The Trons³¹ apresentam exclusivamente robots em palco, abdicando integralmente da presença humana. Baginsky tem continuado a desenvolver instrumentos mecatrónicos (i.e. mecânica robotizada pela electrónica) como *The Three Sirens*³².

Além da continuidade relevante do trabalho dos autores e criadores referidos, notabiliza-se também o trabalho conduzido por Eric Singer e Ajay Kapur. Ambos têm vindo a desenvolver protótipos, instrumentos e novos conceitos tecnológicos e artísticos (e.g. *Orchestrion* de Eric Singer e Pat Metheny³³) que têm vindo a ser reconhecidos à escala global.

Eric Singer³⁴ iniciou cerca do ano 2000 a sua actividade artístico-tecnológica no âmbito da robótica aplicada à musica. Desenvolveu principalmente instrumentos de corda e percussão robotizados (Singer, 2004) como o TibetBot (figura 11a). Concebeu a complexa orquestra robótica de *Orchestrion*, álbum de Pat Metheny editado em CD em 2010 pela editora Nonesuch (Nonesuch Records, 2017). Baseia-se essencialmente em dispositivos originais de acção pneumática e electromecânica (através de solenóides), mediada por microcontroladores e controlada por MIDI - tanto por sequências pré-

²⁵ <http://www.sarahangliss.com/> Acedido em 22 de Julho de 2017.

²⁶ <https://roboticsclub.org/projects/roborchestra/> Acedido em 22 de Julho de 2017.

²⁷ <http://felixsmachines.com/> Acedido em 22 de Julho de 2017.

²⁸ <http://www.cabosanroque.com/> Acedido em 22 de Julho de 2017.

²⁹ <http://nysoundworks.org/> Acedido em 22 de Julho de 2017.

³⁰ <http://expressivemachines.com/dev/wordpress/> Acedido em 22 de Julho de 2017.

³¹ <https://thetrans.bandcamp.com/> Acedido em 22 de Julho de 2017.

³² <http://www.the-three-sirens.info/binfo.html> Acedido em 22 de Julho de 2017.

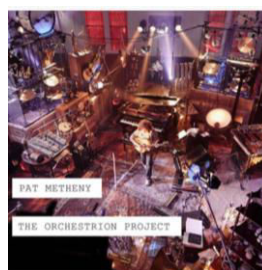
³³ <http://www.patmetheny.com/orchestrioninfo/> Acedido em 22 de Julho de 2017.

³⁴ <http://www.singerbots.com/> Acedido em 22 de Julho de 2017.

programadas quer pela acção do guitarrista (pedais controladores e interface guitarra-MIDI). Permite por exemplo, que a performance do guitarrista seja consumada em tempo real por uma marimba robotizada ou seja, o guitarrista é na prática o executante (i.e. performer) dessa marimba robotizada. A colaboração com Pat Metheny (figura 11b) foi decididamente um marco na carreira de Singer, dada a enorme popularidade de Metheny: gravou 45 discos da sua autoria, colaborou com músicos como Jaco Pastorius, David Bowie, Herbie Hancock, Milton Nascimento, Brad Mehldau, Steve Reich e Johnny Mitchell, obteve 20 grammys e vendeu cerca de 20 milhões de álbuns (Pat Metheny, 2017).



(a)



(b)

Figura 11 – Eric Singer: a) *TibetBot*; b) capa do DVD *Orchestron* de Pat Metheny. Fontes: a) Singer (2004); b) <http://www.patmetheny.com/video/detail.cfm?id=136> Acedido em 17 de Julho de 2017.

Ajay Kapur³⁵ é investigador e director do departamento *Music Technology: Interaction, Intelligence and Design* no California Institute of the Arts (CalArts) e tem sido uma das mais profícuas referências neste início de século XXI. Kapur publicou já dezenas de artigos em periódicos e conferências (e.g. *Computer Music Journal*³⁶). Desenvolveu com Michael Darling e outros, projectos mecatrónicos com aplicações no foro artístico e educativo (figura 12) como *KarmetiK*, *NotomotionN* e a *Machine Orchestra* (Kapur, 2011). Utiliza frequentemente o controlo da robótica por microcontroladores *Arduino*³⁷ e solenóides como actuadores. Publicou na última década artigos de extrema relevância dedicados à implementação, optimização (Murphy, 2012) e metodologia de aferição (Long, 2015) destes sistemas - controlo de solenóides.

³⁵ <https://directory.calarts.edu/administration-offices/ajay-kapur> Acedido em 12 de Julho de 2017.

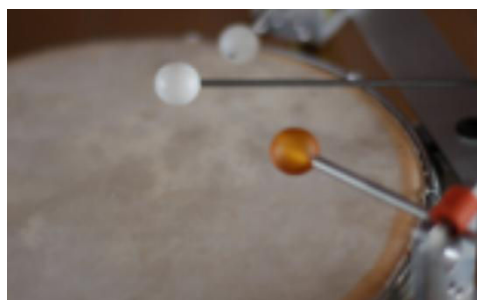
³⁶ http://www.mitpressjournals.org/doi/abs/10.1162/COMJ_a_00090 Acedido em 12 de Julho de 2017.

³⁷ <https://www.arduino.cc/> Acedido em 12 de Julho de 2017.

Dimitri Diakopoulos - que colaborou com Kapur na Karmetk NotomotioN (Kapur, 2011) - desenvolveu o Hiduino (Diakopoulos, 2011), um programa que essencialmente transforma o Arduino num controlador MIDI via porta USB, sendo que por razões do foro técnico só funciona com os modelos Uno e Mega.



(a)



(b)

Figura 12 - Kapur: Machine Orchestra. a) MahaDevibot; b) o seu sucessor GanaPatibot. Fonte: Kapur (2015)

Em virtude do sucesso e disseminação das comunidades Arduino³⁸ e MaxMSP³⁹ - e da sua filosofia open-source - surgiram inúmeras soluções ao nível da programação (e.g. aplicações, software, patches). Entre elas refira-se o Maxuino, um projecto open-source para a comunicação entre os microcontroladores Arduino (e compatíveis) e o programa MaxMSP. Desta forma, permite ao MaxMSP receber e/ou enviar sinal de sensores ou actuadores através das portas IN/OUT do microcontrolador. A acessível implementação do Maxuino apoiada no referido sucesso da *comunidade Max*⁴⁰ tem-se manifestado relevante na internet como são as exemplo as 947 ocorrências encontradas ao pesquisar o termo “Maxuino” no YouTube⁴¹.

Actualmente começaram a ser comercializados em série, instrumentos híbridos inovadores que resultam da congregação de conhecimento oriundo da mecatrónica e outras tendências. Além dos inúmeros protótipos mais ou menos profissionais disponíveis na Internet, algumas empresas apresentam produtos

³⁸ <https://www.arduino.cc/> Acedido em 12 de Agosto de 2017.

³⁹ <https://cycling74.com/products/max> Acedido em 12 de Agosto de 2017.

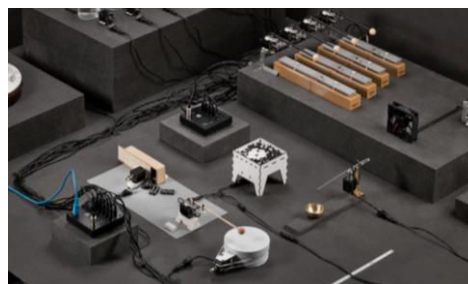
⁴⁰ E.g. <https://cycling74.com/tools/page/1> Acedido em 12 de Agosto de 2017.

⁴¹ https://www.youtube.com/results?search_query=maxuino Acedido em 12 de Agosto de 2017.

bem estruturados e desenvolvidos como o *Grand Pianist*⁴² da Sega Toys ou o *kuBeat*⁴³ (figura 13a) que se apresenta como uma pequena caixa de ritmos acústica. Dada Machines⁴⁴ (figura 13b) é outro produto disponível actualmente, apresentado como *Plug & Play* e baseia-se num microcontrolador que recebe sinal MIDI ao qual se podem ligar até 12 módulos solenóides.



(a)



(b)

Figura 13 – Novas tendências: a) *kuBeat*; b) *Dada Machines*. Fonte: a) <https://www.kubeat.rocks/>; Acedido em 23 de Agosto de 2017. b) <http://http://dadamachines.com/en/> Acedido em 23 de Agosto de 2017.

O conceito de *caixa de ritmos* derivou na prática para qualquer dispositivo capaz de interpretar ou reproduzir ritmos. Ainda que de díspar índole tecnológica (e.g. síntese ou samples⁴⁵ e/ou em software ou hardware), as caixas de ritmos proliferam por exemplo integradas em teclados musicais de carácter lúdico (e.g. SA-46 do fabricante Casio⁴⁶), inseridas em complexos programas de edição e processamento de som (e.g. FL Studio⁴⁷ sucessor do Fruity Loops da mesma empresa) e surgem em versões gratuitas na internet (e.g. Free Drum Loops⁴⁸). Também empresas de outra índole têm vindo a desenvolver trabalhos que aliam a música e robótica. A Toyota⁴⁹ por exemplo, desenvolveu um quarteto de robots humanóides que actuam sobre instrumentos de sopro (e.g. trompete) e percussões (Toyota, 2009).

⁴² http://segaretro.org/Grand_Pianist Acedido em 28 de Julho de 2017.

⁴³ <https://www.kubeat.rocks/> Acedido em 22 de Agosto de 2017.

⁴⁴ <http://dadamachines.com/en/> Acedido em 22 de Agosto de 2017.

⁴⁵ i.e. amostra de som gravada digitalmente.

⁴⁶ <http://www.casio-intl.com/asia/en/emi/products/sa46/> Acedido em 22 de Agosto de 2017.

⁴⁷ <https://www.image-line.com/flstudio/> Acedido em 22 de Agosto de 2017.

⁴⁸ <https://www.partnersinrhyme.com/pirsounds/FreeDrumLoops.shtml> Acedido em 22 de Agosto de 2017.

⁴⁹ http://www.toyota-global.com/innovation/partner_robot/ Acedido em 22 de Agosto de 2017.

Departamentos académicos como o de Engenharia e Ciência Aplicada da Universidade da Pennsylvania⁵⁰, têm também apresentado arrojados sistemas musicais robóticos que proporcionam inovadoras criações artísticas (e.g. drones actuando sobre teclados e percussões (University of Pennsylvania, 2017)).

Em Portugal, o Gamelão Robótico da Casa da Música⁵¹ no Porto, integra a acção de solenóides no seu sistema e tem proporcionado novos desafios no âmbito da performance e da composição. Também no Porto, o colectivo *Sonoscopia*⁵² tem vindo a desenvolver instrumentos electromecânicos originais programáveis, proporcionando novas criações a compositores como Carlos Guedes⁵³ e Filipe Lopes⁵⁴. No âmbito deste projecto, destaca-se a “*Phobos, Orquestra Robótica Disfuncional*”⁵⁵, que o colectivo apresenta como “um conjunto de pequenos robots e dispositivos de geração automática de música que se agregam numa Orquestra Robótica Disfuncional, uma orquestra de estranhos instrumentos com defeitos, mutações genéticas e comportamentos errantes” (Sonoscopia, 2017).

⁵⁰ <http://www.upenn.edu/> Acedido em 23 de Agosto de 2017.

⁵¹ <http://www.casadamusica.com/pt/digitopia/hot-spots/gamelao-robotico/?lang=pt> Acedido em 23 de Agosto de 2017.

⁵² www.sonoscopia.pt Acedido em 23 de Agosto de 2017.

⁵³ <https://carlosguedes.org/> Acedido em 23 de Agosto de 2017.

⁵⁴ <http://www.filipelopes.net/> Acedido em 23 de Agosto de 2017.

⁵⁵ <http://www.sonoscopia.pt/works/phobos> Acedido em 23 de Agosto de 2017.

3. BUDDY - CAIXA DE RITMOS EXPANDIDA.

3.1. Introdução.

O *Buddy* é uma bateria musical robótica baseada num conjunto de seis solenóides que actuam em tempo real sobre elementos de uma bateria musical acústica. Sob mediação de um microcontrolador Arduino, os solenóides actuam sobre o pedal do bombo, mecanismo dos pratos de choque e baquetas que percutem a tarola, o prato, o timbalão e os pratos de choque (figura 14). A razão de denominar o *Buddy* como uma caixa de ritmos expandida deve-se ao facto de:

- 1 - promover uma experiência acústica/sonora, em contraste ao uso de sons sintetizados ou samples áudio;
- 2 - permitir o uso de sensores variados (e.g. infravermelhos) para manusear o robot;
- 3 - permitir a concepção de algoritmos personalizados (e.g. geração automática de ritmo que controlem o robot).

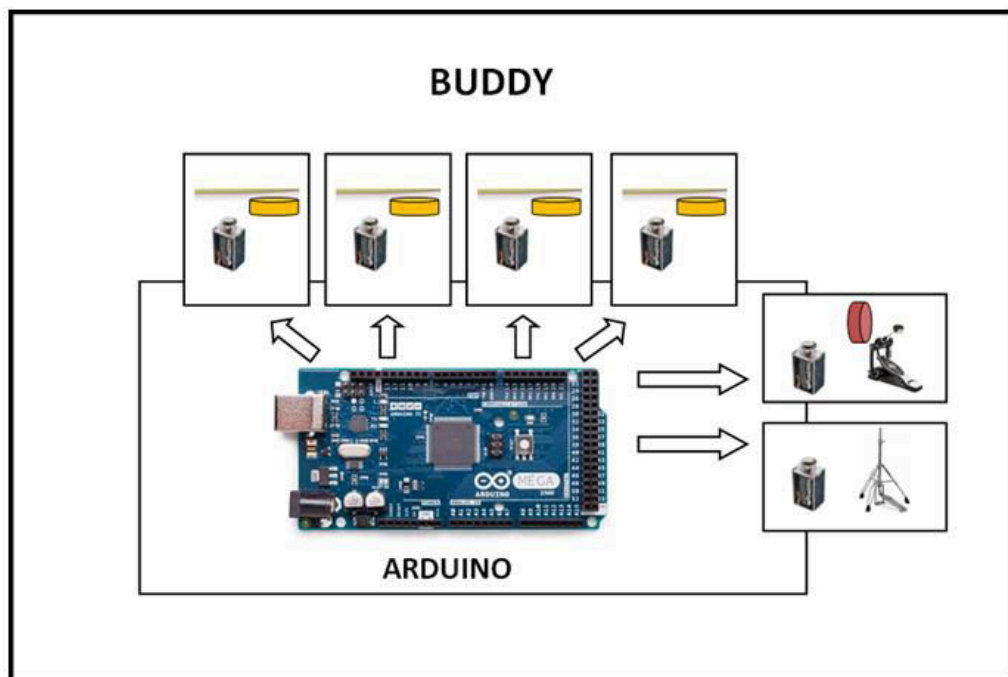


Figura 14 – Esquema fundamental do *Buddy* e fluxo de sinal entre o Arduino e os solenóides actuadores sobre a bateria.

Dada a expressividade, disseminação e utilidade patente nas tecnologias da música e do som, o protocolo MIDI foi implementado como forma de controlar o robot. O *Buddy* pode assim ser facilmente controlado por vários dispositivos, controladores, hardware ou software disponível através de uma ficha standard MIDI (DIN¹ 5 pinos).

O sistema concebido actua sobre partes de uma bateria musical acústica de pequeno volume (bombo 16”) e som mais “jazzístico”². Aliei assim o agrado estético (sonoro) pessoal, a um menor volume e maior portabilidade, bem como à fácil adaptação a outra bateria musical.

Nos subcapítulos seguintes são apresentados os elementos fundamentais do *Buddy* (3.2.) e descrita a sua implementação (3.3.).

3.2. Elementos Fundamentais do *Buddy*: Arduino e Solenóides.

No âmbito dos objectivos do foro tecnológico, artístico, pedagógicos e socioeconómicos (subcapítulo 1.3) deste projecto, considereei essencial apresentar uma breve descrição de dois elementos fundamentais à implementação do *Buddy*: o microprocessador Arduino sobre o qual se baseia a implementação da Unidade Central, e os solenóides, mecanismos eletromagnéticos nos quais se fundamenta a acção e concepção dos Módulos Electromecânicos (fig. 17).



a)



b)

Figura 15 : Elementos fundamentais: a) Microcontrolador Arduino Mega; b) Solenóide.

¹ DIN – acrónimo de Deutsches Institut für Normung.

² Por exemplo no Rock, utilizam-se tipicamente bombos entre 20” e 22” de diâmetro.

Arduino.

O Arduino³ é um produto italiano apresentado como um microcontrolador open-source⁴ mas neste caso, além do próprio microcontrolador, a plataforma integra também portas de entrada e saída (digitais e analógicas) que permitem a ligação de sensores e actuadores diversos. Tem sido alvo de atenção dedicada por amadores e profissionais (e.g. comunidade Arduino Portugal⁵) e tem tido fortes repercussões no desenvolvimento de múltiplas aplicações nas áreas da educação, da robótica e da mecatrónica. É programado através dum *Integrated Development Environment* (IDE) e o código desenvolvido é transferido para o Arduino através de um cabo USB.

O Arduino é um microcontrolador de código e arquitectura aberta (open-source) e a comunidade mundial é imensa, profícua e dedicada a diversas especificidades e aplicações. Com relativa facilidade se discutem e se encontram soluções online de desenvolvimentos para todo o tipo de protótipos, por isso mesmo também o seu sucesso na Educação em Ciências, Informática, Matemática e enorme disseminação. Em Portugal, tal como noutros países da Europa, é a plataforma mais difundida nas escolas secundárias dada a sua versatilidade, baixo custo e acessível primeira abordagem - a Associação Nacional de Professores de Informática por exemplo, remete o Arduino para primeiro plano em inúmeras acções pedagógicas no âmbito da programação e da robótica⁶. O modelo UNO R3 é o mais popular e custa em Portugal cerca de 25€⁷. Encontramos no mercado sensores infravermelhos ou ultrassons compatíveis a partir de 4€⁸. Embora durante toda a fase preliminar do *Buddy* tenha sido realizada com o UNO R3⁹, foi decidido implementar o modelo

³ <https://www.arduino.cc/> Acedido a 9 de Agosto de 2017.

⁴ Open-source: *código aberto*: neste âmbito, cuja arquitectura de hardware e software se encontra disponível e aberta a réplicas ou clones.

⁵ <http://www.arduinoportugal.pt/> Acedido a 9 de Agosto de 2017.

⁶ <http://www.anpri.pt/> Acedido a 9 de Agosto de 2017.

⁷ <https://www.ptrobotics.com/plataformaarduino-e-modelos-alternativos-equivalentes/1033-arduino-uno.html> Acedido a 9 de Agosto de 2017.

⁸ <http://www.yourobot-electronics.com/product/sensor-de-detec%C3%A7%C3%A3o-de-obst%C3%A1culos> Acedido a 9 de Agosto de 2017.

⁹ <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3> Acedido a 9 de Agosto de 2017.

Arduino MEGA¹⁰ na fase final, dado possuir muitas mais portas Pulse Width Modulation (PWM¹¹), o que faculta a ligação de um maior número de sensores e actuadores comparativamente com o Arduino UNO.

Solenóides.

Um solenóide consiste numa bobine de fio enrolado em forma cilíndrica, no interior da qual repousa um êmbolo metálico. Enviando corrente eléctrica pela bobine (i.e. espiral de fio condutor), é gerada força electromagnética no interior da bobine que imediatamente repele o êmbolo e acciona o seu movimento para fora do “tubo magnético”. O processo de vai e vem do solenóide ocorre quando a bobine perde energia, pois o êmbolo regressa à posição inicial através de seu peso ou da mola que tem instalada. Estes dispositivos são utilizados em milhares de aplicações industriais e são parte integrante de muitos objectos do nosso quotidiano, como é o caso das fechaduras eléctricas das portas de um automóvel¹².

Após estudos preliminares e experimentação a nível de código informático e electrónica, foram utilizados no protótipo final do *Buddy* solenóides que respondem a tensões entre os 12V e os 36V¹³. Particularmente, são solenóides do fabricante *Shenzhen Zonhen Electric Appliances*¹⁴, referência no mercado da robótica actual e custam cerca de 20 euros cada¹⁵. Com uma tensão de 12V, os solenóides tem uma resposta efectiva sobre as membranas da bateria (i.e. ouve-se som) mas só a partir dos 24V começam a produzir intensidade e timbre conforme conhecemos da *dinâmica humana* sobre o instrumento.

¹⁰ <https://store.arduino.cc/arduino-mega-2560-rev3> Acedido a 9 de Agosto de 2017.

¹¹ As portas PWM permitem o controlo da tensão eléctrica enviada aos solenóides, repercutindo-se na possibilidade de controlo da intensidade de cada actuação (i.e. de cada nota).

¹² <http://www.ebay.com/bhp/door-solenoid> Acedido a 9 de Agosto de 2017.

¹³ https://www.ptrobotics.com/solenoides-e-electroimans/1243-solenoid-36v.html?search_query=solenoid&results=7 Acedido a 9 de Agosto de 2017.

¹⁴ <http://www.zonhen.com/index.html> Acedido a 9 de Agosto de 2017.

¹⁵ <https://www.ptrobotics.com/solenoides-e-electroimans/1243-solenoid-36v.html> Acedido a 9 de Agosto de 2017.

3.3. Implementação.

3.3.1. Introdução.

Para controlar os solenóides em tempo real através do protocolo MIDI sobre as membranas, mecanismos e pratos de uma bateria acústica, após testes e estudos preliminares (Kapur, 2007; Murphy, 2012; Long, 2015) e conforme a metodologia adoptada neste projecto, o projecto assumiu-se então com os seguintes dois subsistemas a implementar para que actuem sobre as fontes ou mecanismos pretendidos (figura 16):

1 - A Unidade Central (UC), que recebe sinal MIDI e/ou através dos sensores e enviará sinal eléctrico a cada um dos solenóides. A UC alberga fisicamente:

- o microcontrolador Arduino para o qual se desenvolveu o código necessário à actuação dos solenóides;
- a electrónica auxiliar ao controlo dos solenóides e recepção de sinal;
- os sensores (de forma modular i.e., podem ser removidos sem prejuízo para a performance do Buddy como instrumento MIDI);
- o apoio à alimentação externa de corrente DC de 9V para o Arduino e +/-39V para actuação dos solenóides.

A implementação da Unidade Central consistiu em:

- implementar o código desenvolvido no microcontrolador, bem como esquema electrónico e alimentação eléctrica necessários;
- otimizar e calibrar o código desenvolvido, com controlo dinâmico (da intensidade ou velocity) através das portas PWM do Arduino, utilizando um cabo MIDI (DIN de 5 pinos);
- implementar e calibrar a alimentação DC dos solenóides.

2 - Os Módulos Electromecânicos (ME), integrando cada um deles um solenóide controlado pela UC. Cada um dos módulos actua individualmente puxando baquetas, puxando o eixo do pedal do bombo ou empurrando o mecanismo de abertura e fecho do prato de choque. Operando o *Buddy* seis

solenóides, foi necessário desenvolver igual número de unidades mecânicas relativas à acção sobre baquetas (que percutem a tarola, pratos de choque, timbalão e prato), pedal do bombo e mecanismo de abertura e fecho dos pratos de choque.

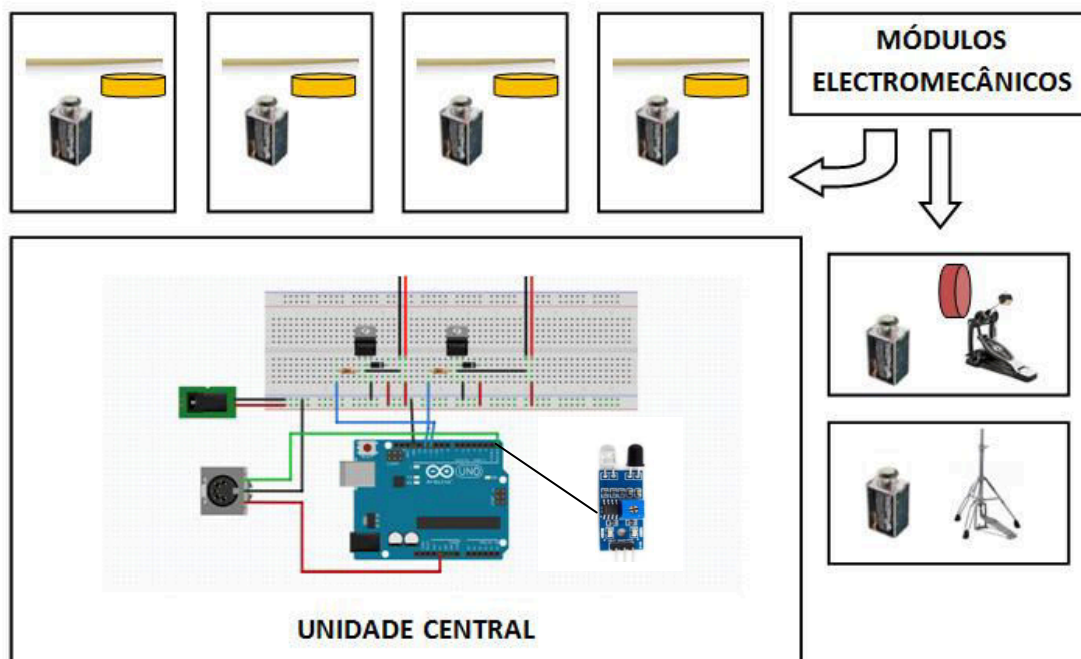


Figura 16 – Subsistemas do *Buddy*: Unidade central e Módulos Electromecânicos.

Desta forma o *Buddy*, recebe sinal MIDI, processa-o através da Unidade Central em “tempo real”, faz actuar os Módulos Electromecânicos (i.e. solenóides) sobre os mecanismos ou fontes sonoras pretendidas e permite assim a exploração das idiosincrasias e novas criações inerentes à a sua concepção (capítulo 4. Testes e Resultados e capítulo 5. Conclusões e Trabalho Futuro).

Nos subcapítulos seguintes são descritos os processos de implementação da Unidade Central (3.3.2.) dos Módulos Mlectromecânicos (3.3.3.) e as acções essenciais à sua Optimização (3.3.4.).

3.3.2. Unidade Central.

A implementação da Unidade Central baseou-se então no desenvolvimento do código para o Arduino e da electrónica necessária ao controlo da operação do *Buddy*. Integrando o protocolo MIDI através da biblioteca do IDE do Arduino¹⁶, o código foi desenvolvido tendo como objectivos:

- controlar cada solenóide (seis) através de sinal MIDI;
- simplicidade do código e subsequente máxima rapidez de actuação;
- ser de acessível reprogramação;
- ser possível o seu controlo através de sensores infravermelhos.

Para tal, no desenvolvimento do código, foi necessário considerar: variáveis, funções (de controlo) e lógica do loop.

Variáveis.

Para escolher o canal (ou canais) MIDI a ler e actuar, foi criada a variável “CANAL_MIDI_IN”, que pode ser alterada através do código pelo utilizador¹⁷.

Para definir as portas PWM que farão actuar os solenóides, foram indexadas as variáveis “NOTA_PWM_A”, “NOTA_PWM_B”, “NOTA_PWM_C”, etc, às portas digitais PWM (2 a 7) que enviam sinal aos seis módulos electromecânicos. Recorrendo a simples alterações nas linhas iniciais do código (anexo C - código implementado), podem proceder-se a alterações à definição das portas (e.g. o timbalão que está ligado à porta 5 precisa agora de estar ligado à porta 7).

¹⁶Disponível em <https://playground.arduino.cc/Main/MIDILibrary>. Acedido a 10 de Agosto de 2017.

¹⁷ A convenção General MIDI (GM) adopta a transmissão de informação referente ao ritmo (i.e. baterias e percussões) através do canal 10. Deste modo, por exemplo, à nota 36 (nota dó) corresponderá sempre um bombo e à nota 40 sempre uma tarola, fazendo com que os ritmos não se encontrem com os instrumentos trocados.

Funções.

Foi desenvolvida a função “getVelocityMinMax”, que recebe o valor da velocidade MIDI e devolve um número correspondente à intensidade (i. e. tensão) a enviar ao solenóide, com limites inferior e superior para controlo do próprio utilizador (0 e 255 respectivamente) visando:

- converter a escala de velocity do MIDI (0-127) para a escala das portas PWM (0-255) conforme referido e,
- ser necessário definir um valor mínimo e máximo para a velocity, dado que os solenóides não mostravam resposta para valores muito baixos.¹⁸

Como no protocolo General MIDI existe mais do que uma nota para cada elemento da bateria a robotizar (e.g. bombos e tarolas diferentes, inúmeros pratos e timbalões, etc.), e para que do ponto de vista musical não faltassem figuras rítmicas à interpretação do *Buddy*, mais do que uma nota MIDI foi indexada a cada um dos seis solenóides (i.e. instrumentos) - respectivamente às portas PWM 2 a 7 do microprocessador Arduino Mega conforme a tabela 1.

Tendo em conta o caso singular do solenóide 6 (mecanismo dos pratos de choque) que devido ao peso do eixo metálico e do prato a levantar necessita da maior tensão possível¹⁹, foi implantado no código o valor de velocity máximo para todos os eventos (variável getVelocityMinMax 255) no sentido de conseguir empurrar sempre o eixo e conseguir abrir os pratos (i.e. levantar a soma dos pesos do eixo e do prato) de forma consistente e eficaz.

¹⁸ A baixos valores de velocidade correspondem na prática voltagens insuficientes para fazer actuar o solenóide e, para valores muito altos associados a elevadas taxas de repetição (i.e. repetição de figuras rítmicas rápidas), foi considerado que o solenóide poderia danificar o instrumento.

¹⁹ Com os solenóides do *Buddy* manifesta-se perigosa e contraproducente a sua operação sob tensão superior à utilizada (39V).

Tabela 1 - Variáveis e Indexação das notas: PWM e portas digitais do Arduino.

	Solenóide 1	Solenóide 2	Solenóide 3	Solenóide 4	Solenóide 5	Solenóide 6
PORTA I/O ARDUINO	2	3	4	5	6	7
Instrumento	Mecanismo do pedal do Bombo	Baqueta Tarola	Baqueta Prato de choque	Baqueta timbalão	Baqueta Prato Ride	Mecanismo dos pratos de choque
Notas MIDI	35, 36	38, 40	42, 44, 46	41, 43, 45, 47, 48, 50	49, 51, 52, 53, 54, 55, 59	44
Valor mínimo PWM (0-255)	70	60	70	70	60	127

Foi desenvolvida a função “verificaProximidadeIr” que recebe sinal através da porta digital do Arduino à qual o sensor de infravermelhos está ligado e devolve o valor (“true” se estiver algo próximo do sensor, “false” em caso contrário) para o processamento desejado. Abordaremos em seguida a utilidade desta função na lógica do loop principal.

Loop Principal.

Após a criação do código (variáveis e funções) o loop infinito principal faz com que o microcontrolador esteja continuamente à espera de receber e fazer actuar sinal. Ao receber um *NoteOn*, verifica a nota e faz actuar o solenóide correspondente com recurso à função “getVelocityMinMax”. Ao receber um *NoteOff*, interrompe o fornecimento de corrente eléctrica ao solenóide, que regressa assim à posição de repouso. O loop consiste na verificação e execução dos dois modos desenvolvidos: o modo MIDI e o modo Sensores Musicais. Quando um destes modos (ou os dois) está activo, é executado; se nenhum estiver activo, o loop termina e repete-se. O modo MIDI é o modo em que o Arduino recebe sinal MIDI e actua sobre na bateria. O modo Sensores Musicais é o modo que utiliza os sensores infravermelhos para controlar a actuação das notas.

Electrónica.

Após a implementação do código no Arduino, desenvolveu-se a electrónica necessária à mediação do sinal entre Arduino e solenóides, à operação dos sensores, à recepção de sinal MIDI e ao fornecimento de energia necessária ao funcionamento dos solenóies (39V) e do Arduino (9V).

Para o controlo de sinal entre o microcontrolador Arduino e cada solenóide, (figura 17) é necessária a intermediação de simples, económicos e facilmente disponíveis componentes. Além de uma placa de ensaio (breadboard) e umas dezenas de cabos de ligação (jumpers), são necessários entre cada saída de sinal do Arduino e cada solenoide: uma resistência, um transistor para controlar o sinal eléctrico enviado ao solenoide e e um díodo. É necessária também uma ficha fêmea MIDI de 5 pinos, para poder receber os dados MIDI pretendidos através de um cabo convencional.

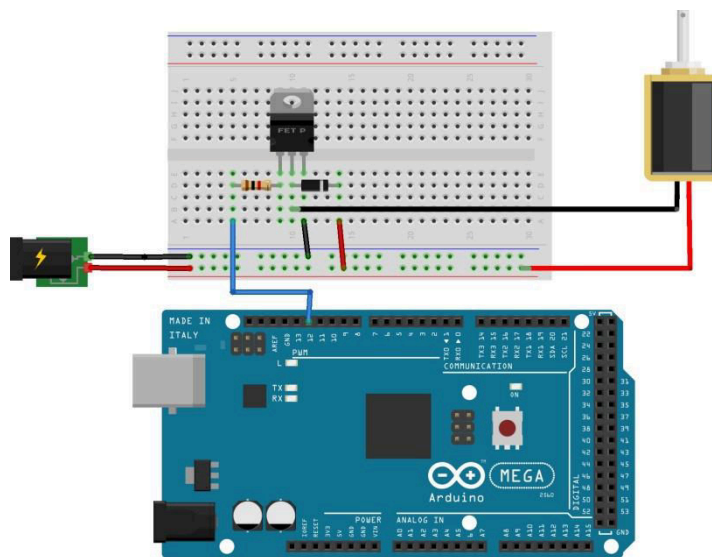


Figura 17 - Diagrama de controlo da acção de cada solenóide

Actualmente têm proliferado o desenvolvimento de performances interactivas, nomeadamente a partir de sensores de índole diversa, tais como infravermelhos, ultrassons ou de temperatura (ver 2.3). Neste âmbito, foi implementado no *Buddy* um protótipo simples de módulo controlador (cuja implementação é acessível), operado por sensores infravermelhos (não tácteis), tendo sido implantado o código desenvolvido na Unidade Central.

Os sensores podem controlar o *Buddy* em tempo real e interagir com algoritmos decisivos no resultado da performance, de qualquer forma, no contexto deste projecto, foi tomada apenas a opção como actuador directo ou *instrumento em tempo real* (faz actuar o comando Note On e consequentemente o solenóide actua sobre o subsistema pretendido). Foi programado com a valor de velocity no máximo (“getVelocityMinMax” 255, correspondente a 127 no protocolo MIDI). Deste modo, consegue auferir taxas de repetição mais elevadas (maior número de figuras rítmicas por pulsação) e de menor latência. Foram usados três sensores de infravermelhos correntes no mercado da robótica.²⁰

A electrónica do sistema foi concebida para a acção de seis solenóides (figura 18) , integrando as necessárias conexões para os sensores e entradas de sinal MIDI e corrente DC. Para a alimentação dos seis solenóides, foi utilizada uma fonte de 38,9V e 830mA²¹.

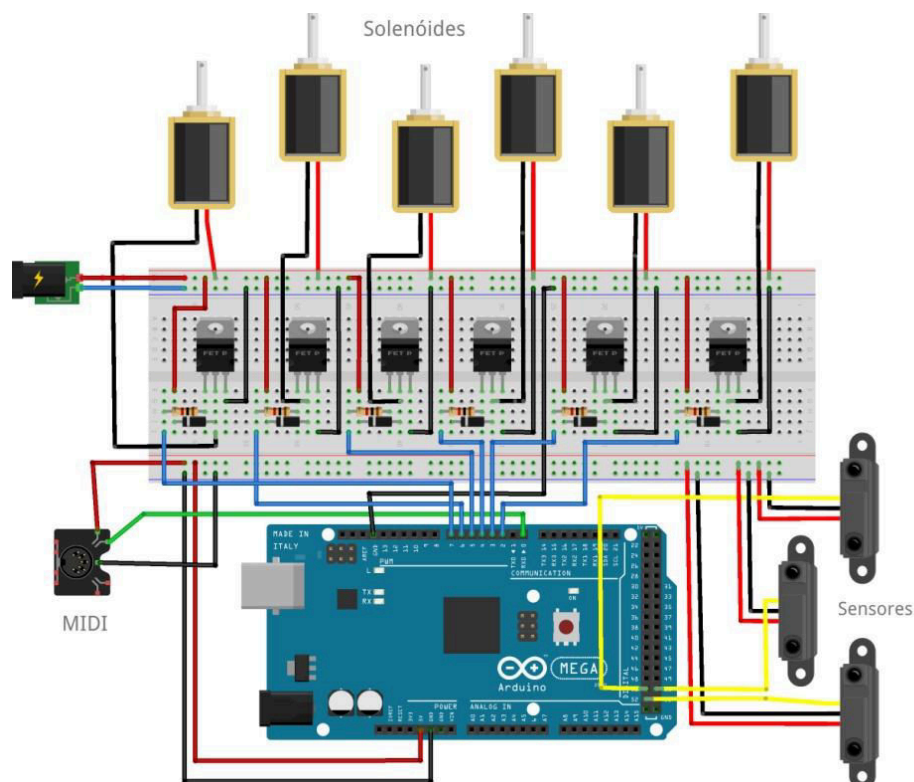


Figura 18 – Implementação da Electrónica.

²⁰ <http://www.yourobot-electronics.com/product/sensor-de-detec%C3%A7%C3%A3o-de-obst%C3%A1culos> Acedido a 10 de Agosto de 2017.

²¹ De qualquer forma, a partir dos 24V torna-se já eficaz .

3.3.3. Módulos Electromecânicos.

O desenvolvimento dos subsistemas electromecânicos teve como objectivo implementar, optimizar e calibrar a mecânica, de forma a que os solenóides actuassem da forma estável e consistente, sobre partes de uma bateria musical acústica. Nesse sentido, para conseguir fazer actuar cada solenóide sobre a baqueta (que percutirá a tarola, pratos de choque, timbalão e prato Ride²²), mecanismo do pedal do bombo ou de abertura e fecho dos pratos de choque, foi necessário criar seis subsistemas de apoio e acção para cada um deles (tabela 2). Os módulos 1, 2, 3, 4, e 5 têm um funcionamento semelhante (solenóide-eixo-baqueta) enquanto que um 6º actuará empurrando directamente o mecanismo de abertura e fecho dos pratos de choque.

Tabela 1 – Implementação mecânica para os seis solenóides.

	Solenóide 1	Solenóide 2	Solenóide 3	Solenóide 4	Solenóide 5	Solenóide 6
Instrumento	Bombo	Tarola	Pratos de choque	Timbalão	Prato Ride	Mecanismo dos pratos de choque
Acção mecânica	Mecanismo do pedal de bombo	Solenóide eixo baqueta	Solenóide eixo baqueta	Solenóide eixo baqueta	Solenóide eixo baqueta	Acção directa sobre o mecanismo
Elementos necessários ou a construir	Pedal do bombo	Apoios de madeira + eixo + extensão ao êmbolo + baqueta	Apoios de madeira + eixo + extensão ao êmbolo + baqueta	Apoios de madeira + eixo + extensão ao êmbolo + baqueta	Apoios de madeira + eixo + extensão ao êmbolo + baqueta	Suporte e mecanismo de pratos de choque
Descrição da Acção	Solenóide puxa o mecanismo	Solenóide puxa a baqueta	Solenóide puxa a baqueta	Solenóide puxa a baqueta	Solenóide puxa a baqueta	Solenóide empurra o mecanismo

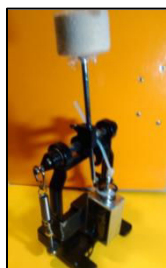
Módulos solenóide-eixo-baqueta (solenóides 1 a 5).

Relativamente ao pedal do bombo (solenóide 1), ele é convencionalmente tocado através dum pedal accionado pelo pé do baterista. Assim, foi fixado o

²² Designação genérica dada a pratos de maior dimensão (geralmente entre 18” e 22”) e consequente maior superfície.

solenóide a um pedal de bombo corrente no mercado, conseguindo desta forma manter também intacto o próprio bombo. O solenóide actua puxando o eixo da baqueta originário do pedal, contando com a acção das molas auxiliares para uma rápida recuperação (figura 19a).

Nos solenóides 2 a 5, que operam respectivamente as baquetas sobre a tarola, pratos de choque, timbalão e prato ride, foi necessário serem construídos e montados blocos de apoio (figura 19b), utilizando paralelepípedos de madeira, baquetas, extensões e eixos de metal (e.g. arame). Pretendeu-se a actuação com a maior eficiência energética, velocidade, rápida recuperação e estabilidade possível.



(a)



(b)

Figura 19: Módulos solenóide-eixo-baqueta: a) solenóide adaptado ao pedal do bombo; b) módulo solenóide-eixo-baqueta.

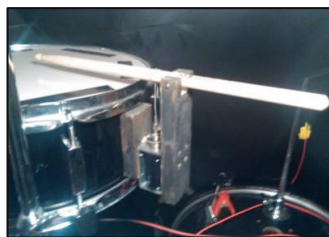
Estes subsistemas modulares apoio-solenóide-eixo-baqueta permitem uma enorme versatilidade e diversidade de usos e adaptações como analisaremos no decurso deste trabalho (capítulo 4 - Teste e Resultados e capítulo 5 - Conclusões e Trabalho Futuro).

Para cada um dos quatro módulos, a construção foi realizada:

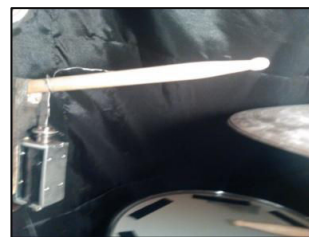
- cortando blocos de madeira e efectuando a furação necessária aos apoios do solenóide bem como ao eixo da baqueta;
- furando o solenóide no eixo para poder servir de apoio ao segmento de ligação à baqueta (i.e. prolongamento ao êmbolo);
- aparafusando o solenóide aos apoios de madeira;

- furando a baqueta de forma a conseguir introduzir a extensão ao êmbolo do solenóide;
- furando a baqueta e o bloco de madeira de forma a conseguir inserir e fixar um eixo;
- inserindo a extensão ao êmbolo do solenóide na baqueta, fixando-a com estabilidade.

Os Módulos Electromecânicos foram então aparafusados ao orifícios de circulação de ar da tarola (figura 20a) e do timbalão e aos suportes/hardware da bateria (para o prato de choque e prato ride) (figura 20b). A implementação da mecânica é morosa, implicando sempre uma paciente optimização e calibração mecânica de carácter meta heurístico, face às diferenças de distância, percurso e intensidade. O sistema beneficia bastante ao ser optimizado e personalizado através do código como veremos em seguida (3.3.4. Optimização).



(a)



(b)

Figura 20 –Módulos Electromecânicos: a) sobre a tarola; b) sobre os pratos de choque.

Solenóide sobre o mecanismo de abertura e fecho dos pratos de choque.

Os pratos de choque²³ são convencionalmente percutidos pelas baquetas (directamente sobre os pratos, como no Módulo Electromecânico do solenóide 3) e controlada a sua abertura/afastamento e fecho/aproximação através dum

²³ Os pratos de choque são um sistema de dois pratos que se podem afastar ou aproximar até que se toquem ou encostem. É convencionalmente tocado pelo baterista através de duas formas (recorrentemente em simultâneo): baqueta(s) na mão(s) percutindo directamente os pratos como no caso do solenóide 3 (baqueta sobre pratos de choque) e/ou actuando sobre o pedal de controlo mecânico de abertura/afastamento e fecho/aproximação dos pratos como no solenóide 6.

mecanismo accionado por pedal. Para esta última função (abertura/fecho), foi decidido que um solenóide actuaria directamente sobre o eixo metálico do mecanismo de abertura e fecho dos pratos. Assim, o pedal foi retirado do sistema de forma a permitir o melhor posicionamento do solenóide em relação ao eixo (figura 21). Conforme a implementação dos valores PWM no código (3.3.2. Unidade Central) e dado o peso do eixo metálico e do prato a levantar, foi implantado no código o valor de velocidade MIDI máximo para todos os eventos (variável `getVelocityMinMax 255`) no sentido de conseguir sempre empurrar o eixo e consequentemente abrir os pratos o mais rapidamente possível.



Figura 21 - Solenóide empurra o mecanismo dos pratos de choque.

Implementados os seis Módulos Electromecânicos sobre as respectivas partes da bateria, concluiu-se a implementação do Buddy.

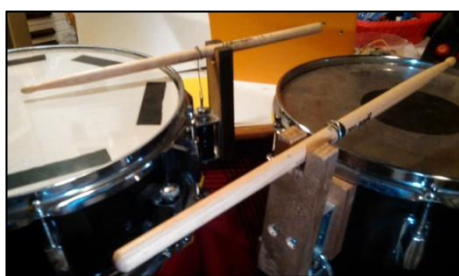
3.3.4. Optimização.

Após a implementação da Unidade Central e no decurso da implementação mecânica, é obviamente vital a optimização e calibragem do sistema (Murphy, 2012). Dado que o resultado sonoro dos cinco módulos solenóide-eixo-baqueta dependem directamente de elementos mecânicos (i.e. comprimento do eixo, da baqueta, seu peso e o ângulo de actuação), cada elemento deve ser optimizado em relação aos valores mínimos de PWM (programados no código implantado na Unidade Central) e através de ajustes nos comprimentos e ângulos da acção mecânica. Desta forma, evita-se por exemplo que uma nota de pouca intensidade (e.g. pianíssimo) possa não chegar a ter energia

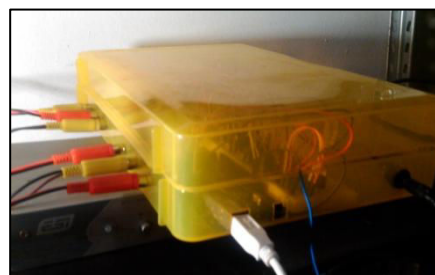
suficiente para fazer actuar a baqueta sobre a membrana ou prato respectivo.

Realizou-se a última fase da implementação do *Buddy*: a eliminação de ruídos de origem mecânica. A maior produção de ruídos situa-se no choque entre os metais do êmbolo e do corpo do solenóide. Em menor amplitude são também produzidos ruídos oriundos do movimento do prolongamento ao êmbolo do solenóide e do eixo metálico da baqueta. A eliminação de ruídos baseou-se na aplicação de fitas esponjosas, que de forma simples, se revelou eficaz no amortecimento e absorção da energia. Relativamente aos mecanismos do pedal do bombo e dos pratos de choque, os ruídos (além dos produzidos pelo corpo do solenóide) inerentes foram considerados redundantes por serem maioritariamente típicos e praticamente “obrigatórios” ao funcionamento destes dispositivos.

Desta forma, o *Buddy* ficou pronto a ser utilizado. Cada Módulo Electromecânico (tal como exemplificado na figura 22a) é ligado à Unidade Central que, recebendo então sinal MIDI e corrente eléctrica, actuará conforme desejado. À data da redacção deste trabalho, a Unidade Central desenvolvida encontra-se instalada numa caixa estável (figura 22b), a qual incorpora: saídas eléctricas para os seis Módulos Electromecânicos, entradas de alimentação DC para o Arduino e para os solenóides e entrada de sinal MIDI.



(a)



(b)

Figura 22 - Buddy: a) Módulos Electromecânicos da tarola e do timbalão; b) Unidade Central.

No capítulo seguinte são apresentados e discutidos os testes e resultados subjacentes à materialização do *Buddy*.

4. TESTES.

Neste capítulo são apresentados os testes e resultados subsequentes à materialização do *Buddy*. Os testes tiveram como objectivo experimentar, aferir, criar e escutar a performance do *Buddy*, controlada em tempo real através de controladores MIDI e sensores infravermelhos. Encontram-se subdivididos em três partes: *Actuação e Controlo do Buddy* (4.1), *Testes Práticos e Criativos: Ser o Buddy, Tocar com o Buddy* (4.2) e Trabalho Complementar (4.3). Nos testes a que o *Buddy* foi submetido, foi controlado pelos seguintes aparatos tecnológicos (fig. 23):

- sensores infravermelhos implementados no sistema (3.3.2.);
- caixa de ritmos da pedaleira GNX4 (Anexo D);
- sequenciadores em software diversos via computador (e.g. Ableton¹);
- programa Band-in-a-Box² (caixa de ritmos) instalado no computador (Anexo D);
- programas ou algoritmos como o gerador automático de ritmos Kin.Rythmicator, via MaxMSP³;
- controlador MIDI para guitarra Korg ZD3;
- teclados controladores MIDI Yamaha, Korg e Miditech; (Anexo D).

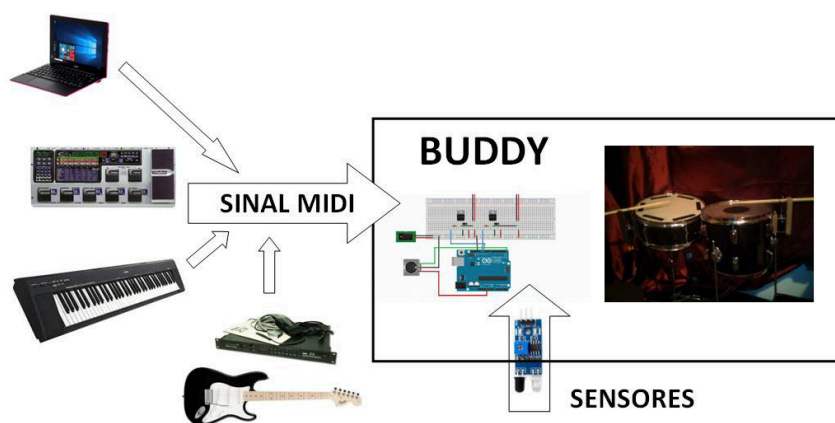


Figura 23 - Controlo do Buddy: MIDI e sensores.

¹ <https://www.ableton.com/en/products/live-lite/> Acedido a 10 de Agosto de 2017.

² <http://www.pgmusic.com/> Acedido a 10 de Agosto de 2017.

³ O programa MaxMSP é um programa de concepção modular expansível, multimédia (inclui interfaces com equipamentos de música, som, luz e imagem), dedicado a artistas das artes musicais, sonoras e visuais. Desenvolvido a partir de trabalhos de Puckette, é actualmente detido e desenvolvido pela empresa Cycling74 (Cycling '74 2017). Kin.Rythmicator é um desses módulos em software (patches) e é essencialmente um gerador automático de ritmos (Cocharro 2012).

4.1. Actuação e Controlo do *Buddy*.

Pretendeu-se nesta fase, aferir a precisão na actuação (dos solenóides) e controlo do *Buddy* em tempo real, através de controladores MIDI e sensores infravermelhos. Dada a importância do ritmo, tempo (bpm) e da dinâmica na música, depois de otimizada a mecânica e programação informática (Murphy 2012), aferiu-se a prestação do *Buddy* conforme a metodologia proposta por Long, Murphy, Kapur e Carnegie (2015). Os autores prevêm uma abordagem heurística em relação à:

1 - latência (4.1.1.) na produção de som ou seja., o espaço de tempo entre o momento em que se dá a ordem de execução (i.e. sinal) e o momento em que se produz o som correspondente;

2 - taxa máxima de repetição da actuação (4.1.2.) i.e., a capacidade de repetir rapidamente a actuação de forma continuada;

3 - consistência dinâmica (4.1.3.) ou seja, a capacidade de execução de vários níveis de intensidade, desde som fraco a som forte.

A resposta obtida e mensurável sobre cada elemento (excepto sobre o mecanismo dos pratos de choque) depende de alguns factores fundamentais (Kapur, 2007; Murphy, 2012; Long 2015) e que tornam infinitas as possibilidades do *Buddy*. Entre esses factores, destacam-se os seguintes:

- comprimento da baqueta;
- tempo de geração do sinal midi + tempo de recepção e actuação do sinal pelos solenóides;
- peso da baqueta;
- precisão da velocidade MIDI e conseqüente maior ou menor tensão eléctrica recebida por cada solenóide;
- distância a percorrer entre a superfície a percutir e a baqueta em repouso.

Os testes heurísticos (4.1.1., 4.1.2. e 4.1.3.) foram realizados enviando para o *Buddy* sinais MIDI com diferentes valores de velocidade MIDI, diferentes índices de repetições no tempo (i.e. figuras rítmicas mais ou menos rápidas) e posicionando a baqueta a diferentes distâncias da superfície a percutir. Foram gravados e medidos com diferentes tipos de captador - pickups e microfones de diferente índole. Especificamente em relação ao controlo humano em tempo real, quer através de controladores MIDI tácteis quer através de sensores infravermelhos não tácteis, este insere-se já num âmbito meta heurístico cujas impressões são apresentadas complementarmente (4.1.4. Considerações Complementares) e desenvolvidas nas conclusões deste projecto (5.1. Conclusões).

4.1.1. Latência.

Em relação à latência do sistema foram realizados testes quantitativos relacionando diferentes valores de velocidade MIDI, diferentes distâncias à fonte sonora a percutir e consequente acção mecânica. O valor final da latência foi calculado de acordo com as propostas dada por Long (2015) e consiste na soma das diferenças de tempos dos passos seguintes:

- transmissão do sinal MIDI e a recepção pelo microcontrolador + tempo de transmissão para o solenóide;
- recepção de sinal eléctrico pelo solenóide e a acção mecânica sobre a baqueta;
- acção mecânica e percurso até atingir a fonte sonora.

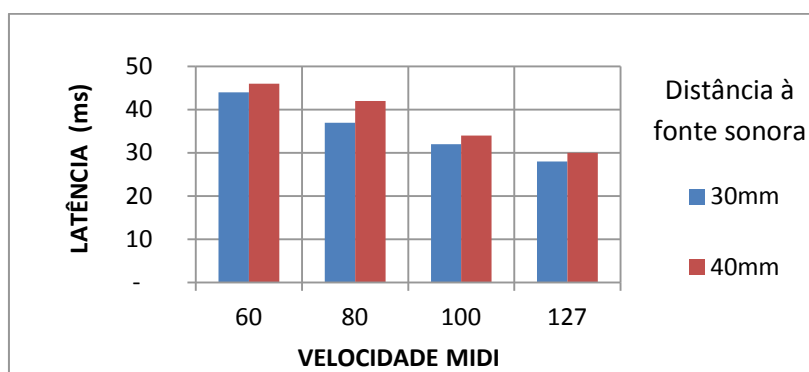
A velocidade do ar entre a superfície produtora de radiação sonora e o microfone foi considerada residual⁴. Os resultados apresentados na tabela 3 são a média de 10 actuações e originaram as seguintes duas grandes conclusões:

⁴ Considerando a velocidade do som no ar a 340m/s à distância de 45mm, tal corresponderia a um atraso de cerca de 0,13ms.

1 – notou-se uma maior eficiência quando foram empregues maiores valores de velocidade MIDI, sendo que aplicando o valor máximo calculou-se 28ms de latência (e.g. adaptado à tarola);

2 - menor distância (e.g. 30mm) entre a baqueta e a fonte sonora a percutir (e.g. membrana da tarola) traduz-se numa latência ligeiramente menor (devido ao menor percurso) conforme a tabela 3. Além da pouca relevância dessa vantagem, menores distâncias tornam-se também incompatíveis com algumas pretensões artísticas como o melhor controlo da dinâmica ou a necessidade de gerar uma maior taxa de repetição (a uma maior distância obtêm-se maiores taxas de repetição conforme explicado em seguida).

Tabela 3 - Latência versus velocidade MIDI e distância.



4.1.2. Taxa de Repetição.

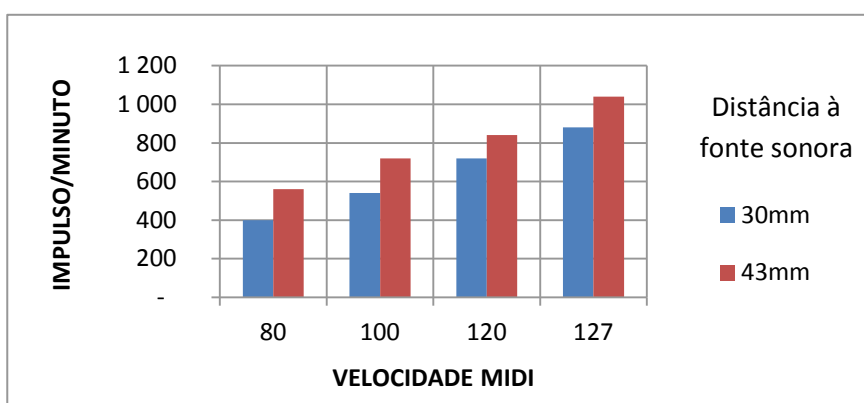
Com o objectivo de aferir a taxa máxima de repetição possível na actuação sobre a fonte sonora, foi enviado sinal MIDI com o maior número de impulsos por minuto possível até que se tornasse inconsistente do ponto de vista dinâmico ou mecânico.

Conforme a tabela 4, a reacção demonstra claramente que o sistema é mais eficaz quando a velocidade MIDI e o percurso (i.e. distância) entre a baqueta e a fonte sonora é maior (e.g. a uma distância de 43mm aproximadamente). Maiores velocidades MIDI (i.e. tensão eléctrica) e maior percurso resultam em maior acção e subsequente reacção da membrana percutida (e.g. tarola).

Auxiliam o sistema electromecânico a absorver a energia excedente, bem como a regressar mais rapidamente ao ponto de repouso, permitindo assim maiores taxas de repetição.

Os resultados apresentados abaixo (tabela 4) são a média de 10 actuações. A resposta máxima continuada e consistente à distância implementada no *Buddy* (43mm) é de 1040 impulsos por minuto, correspondentes a mais de 17 impulsos por segundo.

Tabela 4 - Taxa de Repetição.



4.1.3. Consistência Dinâmica.

Para aferir a resposta acústica do controlo de intensidade (i.e. velocidade MIDI), foram efectuados testes à resposta de intensidade usando valores entre 40 e 127 (tabela 5), a diferentes distâncias entre a baqueta e a superfície (i.e. membrana) a percutir. Simultaneamente, foi também testada a sua consistência em regimes de maior e menor repetição no tempo. Os solenóides só actuam mecanicamente a partir de um valor MIDI de aproximadamente 20 e só conseguem fazer actuar a mecânica de forma efectiva a partir do valor aproximado de 25. Esta situação é explicada pelo facto de que, a intensidades demasiado baixas (i.e. valores de velocidade MIDI baixos) correspondem tensões eléctricas insuficientes para os fazer actuar.

Às propostas de medição dos autores referidos, considerou-se ser de extrema importância a inclusão de dados de comparação de maior ou menor linearidade no que diz respeito à resposta dinâmica (especificamente a intensidade) ao sinal recebido via MIDI (tabela 5). Em termos gerais e comparando com os resultados apresentados por Kapur (2007), a eficiência e consistência do *Buddy* revelou-se elevada. Os valores divergentes são residuais tal como representados na tabela 5 e observáveis na figura 26. Os resultados apresentados são a média de 10 actuações.

Tabela 5 - Consistência Dinâmica.

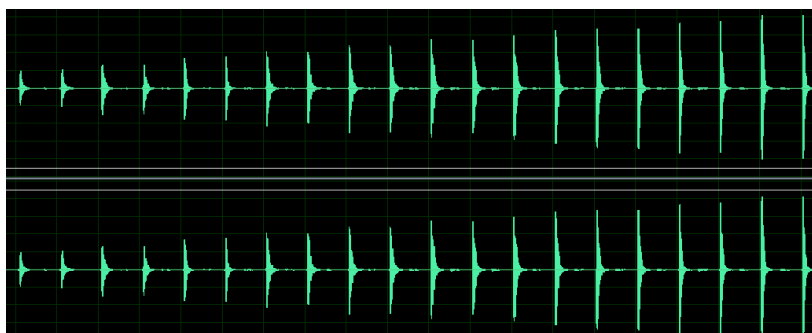
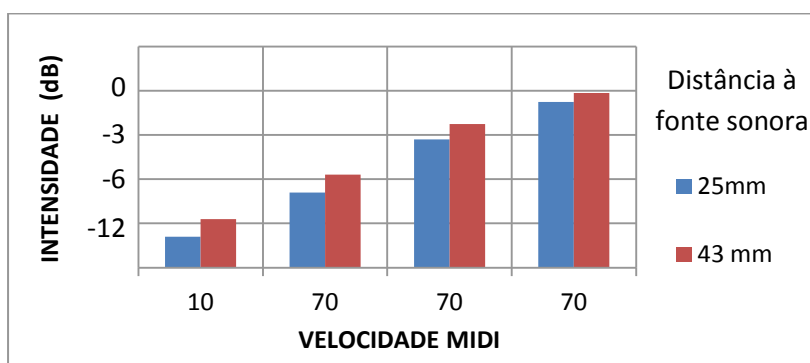


Figura 24 - Velocidade MIDI: Oscilograma de teste efectuado sobre a tarola (baqueta a 43mm da fonte) com velocidades MIDI entre 40 e 127 – duas acções de igual valor, com incrementos de +/- 10.

4.1.4. Considerações Complementares.

Face à proposta estabelecida, designadamente de desenvolver um sistema simples e de baixo custo, o sistema implantado apresentou óptimas performances de carácter técnico a nível da latência, taxa de repetição e consistência dinâmica tal como se comprova pelos seguintes resultados: a latência não ultrapassa os 46 milissegundos (excepto no mecanismo de pratos

de choque⁵) e a taxa de repetição permite cerca de 17 actuações por segundo, o que proporciona performances de tempo musical rápido (e.g. interpretar semicolcheias até 260 bpm) através de diferentes controladores. Permite executar o efeito de rufo⁶ com uma só baqueta na tarola ou através do mecanismo do pedal do bombo. A consistência dinâmica revelou-se também bem sucedida já que é possível obter uma resposta praticamente linear à intensidade pretendida (i.e. velocidade MIDI). O sistema operou conforme expectável (em tempo real) aos sensores e aos controladores MIDI, permitindo a interpretação de figuras rítmicas de considerável rapidez (e.g. semicolcheias a 140 bpm).

4.2. Testes práticos e criativos: *Ser o Buddy, Tocar com o Buddy.*

Na sequência dos testes realizados e descritos no subcapítulo anterior, concentrei-me nas potencialidades artísticas, musicais, sonoras e idiossincráticas do *Buddy*. Assim, seguiram-se testes de carácter prático e criativo.

4.2.1. Performance Programada.

Considerando oportuno, por ter o músico e compositor como enorme referência, tê-lo conhecido em 1979 e como homenagem aos 30 anos do seu falecimento, José Afonso foi o autor sobre o qual decidi trabalhar nesta performance em forma de teste. Escolhi o tema *Os Índios da Meia-Praia*, terceiro tema do álbum *Com as Minhas Tamanquinhas*⁷, para o qual criei um arranjo rítmico e o respectivo ficheiro MIDI no programa Pro Tracks Plus⁸ da empresa Cakewalk (um editor e sequenciador de áudio e MIDI). Experimentei também a performance de ritmos simples pré-definidos do programa Band-in-a-Box.

⁵ O peso e o percurso na actuação do mecanismo causam um atraso superior na produção de som.

⁶ Técnica utilizada pelos bateristas que consiste na produção de figuras rítmicas muito rápidas sobre as membranas (e.g. fusas – oito figuras por pulsação) através dum equilíbrio entre a força contínua da mão sobre baqueta e a reacção elástica da pele (i.e. membrana).

⁷ Álbum de José Afonso, gravado no estúdio *Arnaldo Trindade* e editado em 1976 pela *Orfeu*.

⁸ <https://www.cakewalk.com/Press/Release/1135/06-16-09-Cakewalk-Guitar-Tracks-Pro-4> Acedido a 11 de Agosto de 2017.

Concluí que o *Buddy* permite gerar, desenvolver e catalisar novas criações musicais, sonoras e artísticas, destacando as seguintes potencialidades:

- manipular o timbre, o som e a performance através do uso da chave da bateria de cada peça (fisicamente, durante a pré-performance ou em tempo real);
- modificar os modos vibratórios de cada peça, podendo também posicioná-los adequando à *especialização*⁹ pretendida;
- expandir/ampliar a performance (i.e. interpretação) de qualquer ritmo pré-definido.

Do ponto de vista pessoal e face à minha experiência de 25 anos como músico e professor, a experiência de tocar com o *Buddy* como caixa de ritmos expandida é extremamente rica e interessante. Permite consumir a performance com as características e qualidade que a bateria acústica permite, contudo, expandida pelas potencialidades inumeradas anteriormente.

4.2.2. Tendências Actuais: Algoritmos e Interactividade.

Após as fases de testes anteriores, foi complexificada a utilização do *Buddy*, permitindo em tempo real e simultaneamente:

- operar como caixa de ritmos MIDI;
- ser controlado por sensores e/ou controladores MIDI;
- operar de forma interactiva¹⁰ via MIDI, sob controlo de algoritmos usando análise de áudio (e.g. criação de um patch em MaxMSP) que recolha informação da performance musical para ser mapeado¹¹ para

⁹ No âmbito actual das ciências e artes musicais e sonoras, o conceito de *especialização* tem vindo a ser alvo de dedicada atenção artística e académica como é exemplo o trabalho de Lopes (2015).

¹⁰ No mesmo âmbito, o conceito de *interactividade* tem vindo a ser desenvolvido desde a década de 1980 por investigadores como Barry Vercoe e Winkler (Cocharro 2012). Para Winkler (2001), “Interactive music is defined here as a music composition or improvisation where software interprets a live performance to affect music generated or modified by computers.”

¹¹ Ainda em similar contexto, “o acompanhamento automático utilizando o computador é conhecido como Score Following. Esta técnica acompanha o progresso da performance de um músico utilizando uma partitura conhecida à partida pelo sistema, isto é, através do reconhecimento da performance do

qualquer tipo de controlo - por exemplo, analisar e descrever a curva de amplitude de um sinal áudio, em tempo real, e mapear essa informação para controlar a intensidade com que *Buddy* toca, ou seja, quando mais forte o músico tocar, mais forte tocará também o *Buddy*;

- operar via MIDI sob controlo de algoritmos automáticos de geradores de ritmo (e.g. KinRhythmicator).

. O *Buddy* operou de forma consistente, gerando uma infinidade de potencialidades artísticas. O facto de permitir a manipulação electrónica, mecânica e acústica (4.2.1.), aliadas a estas múltiplas potencialidades de controlo e interacção, é tremendamente inspiradora abrindo portas para um conjunto vasto de propostas de interacções.

4.3. Trabalho Complementar.

Decorrente do processo de desenvolvimento e implementação do *Buddy*, apresenta-se em seguida, trabalho complementar. A descrição deste trabalho é importante pois reforça as intenções iniciais, nomeadamente a de desenvolver um sistema de baixo custo e artisticamente interessante.

4.3.1. Adaptação dos Módulos Electromecânicos a outras baterias.

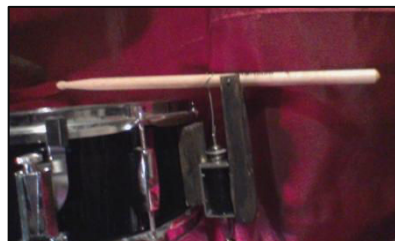
Ainda durante o fase de desenvolvimento e prototipagem dos Módulos Electromecânicos, foi sendo testada a sua adaptação a partes de outras baterias musicais. O Módulo Electromecânico desenvolvido sobre o pedal do bombo, pode percutir outros bombos, dada a uniformidade praticada pelos fabricantes. Também por esta razão, as tarolas por exemplo, não careceram de quaisquer alterações para que fossem aparafusados (os módulos) com estabilidade (figura 25). Além disso, a aplicação dos módulos não causa danos no hardware da bateria, sendo tão acessível a sua aplicação como a sua remoção.

músico em comparação com a mesma partitura que este executa, o computador reconhece o ponto na partitura que o músico executa naquele instante” (Cocharro 2012).

De qualquer forma, o sistema deve ser sempre otimizado através do código implementado no microcontrolador devido a eventuais diferenças de ângulo, comprimento e percurso.



(a)



(b)

Figura 25 – Módulo Electromecânico (a). Módulo adaptado à tarola (b).

4.3.2. Acção dos solenóides sobre outras fontes sonoras.

Durante o desenvolvimento do *Buddy* e paralelamente aos testes de performance e controlo desenvolvidos, foi também testada a actuação de solenóides que operam a 5V sobre outras fontes que não as membranas e pratos integrantes da bateria convencional. Estes solenóides apresentam vantagens em comparação com os utilizados no *Buddy* (36V), por exemplo:

- são de baixo custo (cerca de 6 euros cada), contrapondo aos cerca de 20 euros de cada solenóide do *Buddy*;
- não necessitam de uma fonte de alimentação dedicada para a sua actuação já que as placas Arduino Uno e/ou Arduino Mega fornecem a tensão necessária (5V);
- o seu menor volume permite a adaptação e actuação em inúmeras condições, difíceis ou impossíveis para os solenóides utilizados no *Buddy*.

Foram realizados testes fazendo com que solenóides actuassem directamente sobre:

- idiofones diversos - de metal, cerâmica e madeira e utensílios do quotidiano (e.g. panelas e talheres);
- garrafas e copos com água – que designei *aquaxilofone* (figura 26a) e sobre as barras de um xilofone cromático (figura 26b).



(a)



(b)

Figura 26 – Testes complementares: a) *Aquaxilofone*; b) Xilofone.

De facto, nota-se que há aqui infinitas possibilidades sonoras e artísticas. O intérprete (i.e. performer) pode, ao vivo e em tempo real, manusear, trocar, mover, ou afastar elementos diversos do sistema, interagindo em tempo real com o *Buddy* e com a performance - por exemplo, ao fazer actuar um ritmo pré-composto sobre diferentes idiofones.

Por fim, outro exemplo que foi bastante experimentado através do controlador MIDI para guitarra, consistiu em fazer actuar os solenóides directamente sobre o aquaxilofone e sobre o xilofone cromático, previamente afinados de acordo com uma escala Blues de ré: ré, fá, sol, sol#, lá, dó, ré. Este sistema, por exemplo, pode ser utilizado para “melodizar” ritmos de forma versátil e acessível.

4.3.3. Half *Buddy*: derivações electroacústicas.

O *Buddy* integra vários subsistemas, tal como explanado anteriormente (ver 3.3. Implementação). Se eliminarmos os solenóides, podemos dirigir cada sinal eléctrico para outro dispositivos (e.g. um altifalante). Durante o desenvolvimento do *Buddy* foram efectuadas diversos testes sobre a actuação eléctrica de altifalantes, sob tensões entre os 6V e os 24V. Os resultados

sonoros obtidos apresentaram uma enorme diversidade de timbres extremamente interessantes no contexto da música electrónica e electroacústica, mesmo sem processamento de som. Ainda assim, através de processamento (filtros e modulações), foram também conseguidos resultados bastante surpreendentes e diversificados, merecedores de atenção dedicada, estudo e desenvolvimento em trabalhos futuros. Este é também um *Buddy* simplificado e mais económico, ao eliminar o custo dos solenóides e a respectiva implementação electromecânica.

Após os testes realizados, são apresentadas no capítulo seguinte as subsequentes conclusões, seguidas da antevisão de potenciais trabalhos futuros.

5 – CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO.

Com este projeto de mestrado propus-me criar uma bateria robótica - *Buddy* - inspirada nas caixas de ritmo convencionais, contudo, que expandisse as possibilidades musicais além da reprodução rítmica *per se*. Adicionalmente, propus-me também a desenvolver um sistema acessível quer do ponto de vista económico quer tecnológico, permitindo que qualquer pessoa possa construir um *Buddy* à medida das suas necessidades e possibilidades.

5.1. Conclusões.

O desenvolvimento deste projeto concentrou-se em dois aspectos que se influenciaram, nomeadamente: o aspecto tecnológico e o aspecto artístico. Do ponto de vista tecnológico, foi alcançado um nível de desempenho bastante eficiente (e.g. baixa latência, taxas de repetição na ordem das 1000 atuações por minuto, controlo do sistema via MIDI, possibilidade de alterar o comportamento do robot em tempo real, possibilidade de conectar o robot à internet, entre outros), assim como um compromisso interessante no que diz respeito ao aspecto económico - consegue-se implementar a Unidade Central com cerca de 18€ (em 2017) para a totalidade de componentes para seis actuadores (i.e. solenóides) e implementar cada Módulo Electromecânico por cerca de 20€¹ (solenóide 36V).

Do ponto de vista musical, com base nas experiências que conduzi descritas em capítulos anteriores (ver 4.2.), concluí que a experiência musical de tocar com uma bateria musical robótica é bastante recompensadora não só pelo facto de poder alterar o seu comportamento em tempo real (e.g. interpretando ficheiros MIDI pré-compostos), inclusivamente gerando situações que seriam impraticáveis por um baterista humano, mas, sobretudo, porque a experiência sonora é acústica e real (i.e. o som real de uma bateria), ou seja, não é sintetizada.

¹ <https://www.ptrobotics.com/solenoides-e-electroimans/1243-solenoid-36v.html>.

Ora, o *Buddy* permite então que qualquer pessoa possa interpretar o ficheiro MIDI que criou com sons acústicos de uma bateria, alterar aspectos da performance em tempo real (e.g. trigando outros ficheiros MIDI) e tocar ao mesmo tempo. Naturalmente, o *Buddy* pode ser usado como uma caixa de ritmos convencional, ainda que com a vantagem de se ouvir e poder manipular (e.g. esticando ou abafando com a mão a *pele* da tarola) o som acústico de uma bateria. Também muito aliciante, é o facto do *Buddy* permitir que se explorem formas de interacção pela implementação de algoritmos próprios (e.g. reagindo a determinados eventos sonoros, ligando o *Buddy* à Internet) e assim se vislumbrar situações musicais desafiantes e interessantes.

Por fim, o *Buddy* augura outros aspectos muito auspiciosos pelas suas possibilidades pedagógicas e inclusivas. No que diz respeito às suas potencialidades pedagógicas, por exemplo, abre a possibilidade de um professor poder dar aulas de bateria através da Internet (tendo como controlador uma bateria digital com interface MIDI) ou, por exemplo, a possibilidade de tocar com alguém, em tempo real, que esteja noutra canto do planeta. No que diz respeito às potencialidades inclusivas, o *Buddy* permite que qualquer pessoa sem treino musical possa “ouvir” os seus ficheiros MIDI ou até mesmo, e de maior interesse, permita que pessoas com dificuldades motoras possam “tocar” bateria através da implementação de sensores personalizados.

Os procedimentos de implementação do *Buddy* foram publicados na Internet².

5.2. Trabalho Futuro.

No futuro próximo irei desenvolver um “manual de instruções” do *Buddy*, para que compositores e criadores de diferentes multidisciplinaridades artísticas possam criar composições (e manipular o *Buddy*) sem conhecimento prévio da sua implementação.

² <http://alexbenjazz.wixsite.com/buddy>

Das idiosincrasias potenciadas pelo *Buddy* poder-se-ão desenvolver novas performances e criar novos sons, instrumentos, composições e interacções. Poderá compor-se música para as especificidades do *Buddy*. Os Módulos Electromecânicos poderão, por exemplo, controlar diferente tipo de solenóides, actuando sobre fontes sonoras de diversa índole (eg. xilofones e outros instrumentos de percussão). Eliminando os solenóides, poder-se-á direccionar sinal eléctrico para outros dispositivos (e.g. altifalantes alimentados com diferentes voltagens) estimulando a criação de novos instrumentos electroacústicos. O *Buddy* poderá ser utilizado em composições musicais vinculadas à especialização como por exemplo, pela actuação em altifalantes ou objectos sonoros previamente dispostos pelo espaço de performance.

A possibilidade de comunicação em tempo real via Internet proporciona o controlo do *Buddy* à distância. Poderão ser desenvolvidas aplicações (i.e. software) ou hardware (para abdicar do computador como mediador) para o controlo do *Buddy*. A ligação à Internet poderá também ser utilizada para que o *Buddy* opere sob controlo de bases de dados (e.g. satélites naturais ou artificiais da Terra) para reagir de acordo com elas.

Por fim, face às potencialidades que o *Buddy* oferece, considero relevante a sua futura utilização em projectos com pessoas com dificuldades motoras e/ou cognitivas, já que a integração de sensores adequados/personalizados é uma possibilidade prevista.

BIBLIOGRAFIA

- Al-Jazari, Ibn. (1206) (kitab fi ma'rifat al-hiyal al-handasiyya). The book of knowledge of ingenious mechanical devices. Tradução: Hill, D. R. 1974. Holanda: Reidel.
- Buchner, A. (1978). Mechanical Musical Instruments. Londres: Batchworth Press.
- Cocharro, D. (2012). Condução em tempo-real de algoritmos musicais: implementação de um sistema musical interativo com o kin.rhythmicator. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Cangueiro, L. (2007). Instrumentos de Música Mecânica. Portugal; Quinta do Rei.
- Crowley, T. E. (1975). *Discovering Mechanical Music*. Oxford: Shire Publications.
- Diakopoulos, D., Kapur, A. (2011). Hiduino: A firmware for building driverless USB-MIDI devices using the Arduino microcontroller. *Proceedings of the 2011 International Conference on New Interfaces for Musical Expression*. p 405-408. Oslo, Noruega.
- Dolan, B. (2009). Inventing Entertainment: The Player Piano and the origins of an American Musical Industry. Lanham, Maryland, E.U.A.: Rowman and Littlefield Publishers.
- Driscoll, S., Weinberg, G. (2006). Toward robotic musicianship. *Computer Music Journal*. 30:4. p. 28-45.
- Farmer, H. G. (1931). The organ of the ancients: from Eastern sources (Hebrew, Syriac and Arabic). London: New Temple Press.
- Farré-Olivé, E. (1989). A medieval catalan clepsydra and carrillon. *Antiquarian Horology and the proceedings of the Antiquarian Horological Society*, Winter 1989. p. 371-380.
- Haspels, J. (1987). Automatic Musical Instruments: their mechanisms and their music 1580-1820. Holanda: Zwolle.
- Holmes, Tohm. (2012). Electronic and Experimental Music. 4ª edição. London: Routledge.
- Jordà, S. (2002). Afasia: the Ultimate Homeric One-man-multimedia-band. *Proceedings of the 2002 International Conference on New Interfaces for Musical Expression*. Dublin, Irlanda.
- Kapur, A. (2005). A History of Robotic Musical Instruments. *Proceedings of the 2005 International Computer Music Conference*. Barcelona, Espanha.
- Kapur, A., Singer, E., Suleman, A., Tzanetakis, G. & Trimpin. (2007). A comparison of solenoid-based strategies for robotic drumming. *Proceedings of the 2007 International Computer Music Conference*. p. 393-396. Copenhaga, Dinamarca.

- Kapur, A., Darling, M., Diakopoulos, D., Murphy, J., Hochenbaum, J., Vallis, O. et al. (2011). The Machine Orchestra: An Ensemble of Human Laptop Performers and Robotic Musical Instruments. *Computer Music Journal*. Winter 2011, Vol. 35 Issue 14, p. 49-63. Nova Iorque, E.U.A.
- Kettlewell, Ben. (2002). *Electronic Music Pioneers*. Vallejo: ProMusic Press.
- Kircher, A. (1650). *Musurgia Universalis*. Roma, Itália.
- Koetsier, T. (2001). On the prehistory of programmable machines: musical automata, looms, calculators. *In Mechanism and Machine Theory 2001* 36(5). p. 589-603. Holanda: Elsevier Ltd. DOI: 10.1016/S0094-114X(01)00005-2
- Krzyzaniak, M. (2012). Prehistory of Musical Robots. *Journal of Human-Robot Interaction*. 11:1, pp. 78-95. DOI: 10.5898/JHRI.1.1
- Long, J., Murphy, J., Kapur, A., Carnegie, D. (2015). A Methodology for Evaluating Robotic Striking Mechanisms for Musical Contexts. *Proceedings of the 2015 International Conference on New Interfaces for Musical Expression*. Baton Rouge, E.U.A. DOI: 10.1109/ICARA.2015.7081143
- Lopes, F. (2015). *Composição Musical com o Espaço*. Dissertação de Doutorado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Maes, Laura. Raes, Godfried-Willem & Rogers, T. (2011). The Man and Machine Robot Orchestra at Logos. *Computer Music Journal*. Winter 2011, Vol. 35 Issue 14, p28-48. DOI: 10.1162/COMJ_a_00089
- Maingot, É. (1959). *Les Automates*. Paris: Hachette.
- McElhone, K. (1997). *Mechanical Music*. E.U.A.: AMICA.
- Murphy, J., Kapur, A. & Carnegie, D. (2012). Better Drumming Through Calibration: Techniques for pre-performance Robotic Percussion Optimization. *Proceedings of the 2012 Conference on New Interfaces for Musical Expression*. Ann Arbor, E.U.A.
- Murphy, J. (2014). *Expressive Musical Robots: Building, Evaluating, and Interfacing with an Ensemble of Mechatronic Instruments*. Dissertação de Doutorado. Victoria University of Wellington. Nova Zelândia: Victoria University of Wellington.
- Nadarajan, G. (2007). Islamic Automation: A Reading of Al-Jazari's *The Book of Knowledge of Ingenious Mechanical Devices* (1206). *In Media Art Histories*. p. 163-178. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- Nikitin, Pavel. (2012). "Leon Theremin (Lev Termen)". *IEEE Antennas & Propagation Magazine*. Vol. 54 Issue 5, p252-257. DOI: 10.1109/MAP.2012.6348173.

- Raes, G.-W. (1992). A personal story of music and technologies. *Leonardo Music Journal*, 2:1, p. 29-35. MIT Press.
- Raman, C. V. (1920). Experiments with Mechanical Mechanically played Violins". *Proceedings of the Indian Association for the Cultivation of Science*. 6. p. 19-36.
- Singer, E., Fedderson, J., Redmon, C. & Bowen, B. (2004). LEMUR's Musical Robots. Proceedings of the 2004 Conference on New Interfaces for Musical Expression. (pp. 181-184). Hamamatsu, Japan. DOI:10.1.1.1.4445
- Winkler, T. (2001). *Composing Interactive Music: Techniques and Ideas Using Max*. Massachusetts: The MIT Press.

FONTES ELECTRÓNICAS

- Cycling '74. (2017). <https://cycling74.com/products/max> Acedido a 14 de Junho de 2017.
- Krzyzaniak, M. (2016). Manzetti's flute-playing automaton from contemporary sources. <http://michaelkrzyzaniak.com/Research/Manzetti.php> Acedido a 14 de Junho de 2017.
- Nonesuch Records. (2017). Nonesuch Records. <http://www.nonesuch.com/albums/orchestrion> Acedido a 14 de Junho de 2017.
- Toyota. (2009). Partner Robot. http://www.toyota-global.com/innovation/partner_robot/ Acedido a 14 de Junho de 2017.
- Metheny, P. (2017). <http://www.patmetheny.com/awards/> Acedido a 14 de Junho de 2017.
- Raes, G. W. (2017). Automations by Godfried-Willem. Logos Foundation. http://www.logosfoundation.org/instrum_gwr/autom Acedido a 14 de Junho de 2017.
- Sonoscopia. (n.d.). www.sonoscopia.pt Acedido em 23 de Junho de 2017.
- University of Pennsylvania. (2017). <http://www.upenn.edu/> Acedido a 16 de Junho de 2017.

ANEXOS

Anexo A - Datasheet / Características do Arduino Mega¹.

OVERVIEW


TECH SPECS

DOCUMENTATION

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 15 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz
LED_BUILTIN	13
Length	101.52 mm
Width	53.3 mm
Weight	37 g

¹ Disponível em <https://store.arduino.cc/arduino-mega-2560-rev3>. acessado em 20 de Julho de 2017.

Anexo B - Datasheet / Características dos solenóides.

 深圳众恒电器有限公司 SHENZHEN ZONHEN ELECTRIC APPLIANCES Co., Ltd.					设计				
					审核				
					批准				
名称 规格书 SPECIFICATION					部门	研发部			
					版本	A	页次	1/4	
<p style="text-align: center;">CUSTOMER: PART NO. : ZHO-1364S-36A13 CUSTOMER PART NO. :</p> <p>1. 适用范围 (scope) 本规格书仅适用于交流螺线管ZHO-1364S-36A13</p> <p>2. 标准试验条件 (STANDARD TEST CONDITION)</p> <p>2-1 环境 (AMBIENCE) 周围温度 (AMBIENCE TEMP): 20 ± 2℃ 相对湿度 (RELATIVE HUMIDITY): 65 ± 5% 大气压 (ATMOSPHERIC PRESSURE): 1013mbar</p> <p>2-2 试验负载 (LOAD) 负载 (COUNTER WEIGHT)</p> <p>2-3 电源 (POWER) 稳定电源 (电压变动1mVrms MAX) <STEADY POWER (RIPPLE VOLTAGE 1mVrms MAX)></p> <p>2-4 试验方法 (TEST POSTURE)</p> <p>(1) 吸引力: 滑杆处于垂直位置, 负载向下 (ATTRACTING FORCE: PLUNGER TO BE VERTICAL AND LOAD DOWN)</p> <p>(2) 残留吸引力: 滑杆处于垂直位置, 负载向下 (RESIDUAL MAGNETISM: PLUNGER TO BE VERTICAL AND LOAD DOWN)</p> <p>(3) 保持力: 滑杆处于垂直位置, 负载向下 (HOLDING FORCE: PLUNGER TO BE VERTICAL AND LOAD DOWN)</p> <p>3. 外形图 (APPEARANCE)</p> <p>3-1 外形尺寸: 参照页码 4/4 (DIMENSION SEE THE PAGE 4/4)</p> <p>4. 额定参数 (RATED VOLTAGE)</p> <p>4-1 电 压 (VOLTAGE): DC 36 V</p> <p>4-2 电 流 (CURRENT): 2.7A (at DC 36 V 20℃)</p> <p>4-3 功 率 (WATTAGE): 99.7 W</p> <p>4-4 使用电压范围: DC36V ± 5%</p> <p>4-5 直流电阻 (DC RESISTANCE): 13 ± 5% (周围温度20℃)</p> <p>4-6 工作循环 (DUTY CYCLE): 瞬间通电 (最长通电<10s, 间隔120s再次通电)</p> <p>4-7 绝缘等级 (INSULATION CLASS): B类 (CLASS B)</p>									
NO.	日期	更改内容	修订	审核	NO.	日期	更改内容	修订	审核
1					1				
2					2				

Anexo C - Código implementado .

```
/*
***** FASE 4 *****

* Arduino MEGA
*/
#include <MIDI.h>

// Sensores Musicais IR
#define SENSOR_MUSICAL_IR_1 52
#define SENSOR_MUSICAL_IR_2 51
#define SENSOR_MUSICAL_IR_3 50

// Notas Solenóides
#define NOTA_PWM_A 2 //
#define NOTA_PWM_B 3 // Tarola
#define NOTA_PWM_C 4 // Prato de choque (baqueta)
#define NOTA_PWM_D 5 // Timbalões vários
#define NOTA_PWM_E 6 // Pratos vários
#define NOTA_PWM_F 7 // Prato de choque (prato)
#define NOTA_PWM_G 8
#define NOTA_PWM_H 9
#define NOTA_PWM_I 10
#define NOTA_PWM_J 11
#define NOTA_PWM_K 12
#define NOTA_PWM_L 13

// Canal MIDI
#define CANAL_MIDI_IN 10
MIDI_CREATE_INSTANCE(HardwareSerial, Serial, MIDI_IN);

// Variáveis de controlo
int nota_musical = 0;

boolean modoMIDI = true;
boolean modoSensoresMusicaisIR = false;

// SETUP INICIAL
void setup(){
  // Inicia MIDI no canal definido
  MIDI_IN.begin(CANAL_MIDI_IN);

  // Define os pins de output
  pinMode(NOTA_PWM_A, OUTPUT);
  pinMode(NOTA_PWM_B, OUTPUT);
  pinMode(NOTA_PWM_C, OUTPUT);
  pinMode(NOTA_PWM_D, OUTPUT);
  pinMode(NOTA_PWM_E, OUTPUT);
  pinMode(NOTA_PWM_F, OUTPUT);
  //pinMode(NOTA_PWM_G, OUTPUT);
  //pinMode(NOTA_PWM_H, OUTPUT);
  //pinMode(NOTA_PWM_I, OUTPUT);
  //pinMode(NOTA_PWM_J, OUTPUT);
  //pinMode(NOTA_PWM_K, OUTPUT);
  //pinMode(NOTA_PWM_L, OUTPUT);
  // Define os pins de input
  pinMode(SENSOR_MUSICAL_IR_1, INPUT);
  pinMode(SENSOR_MUSICAL_IR_2, INPUT);
```



```

    pinMode(SENSOR_MUSICAL_IR_3, INPUT);
}

long distanciaSensorPing(int pin_sensor_ping){

    pinMode(pin_sensor_ping, OUTPUT);
    digitalWrite(pin_sensor_ping, LOW);
    delayMicroseconds(2);
    digitalWrite(pin_sensor_ping, HIGH);
    delayMicroseconds(5);
    digitalWrite(pin_sensor_ping, LOW);

    pinMode(pin_sensor_ping, INPUT);
    long duracao = pulseIn(pin_sensor_ping, HIGH);

    // A velocidade do som é 340 m/s, ou 29 microsegundos por centímetro.
    return (duracao / 58);
}

boolean verificaProximidadeIr(int pin_sensor_ir){
    if(digitalRead(pin_sensor_ir) == 0){
        return true;
    }else{
        return false;
    }
}

int getVelocityMinMax(int velocity, int minimum, int maximum){
    int getVelocityMinMax = velocity * 2;

    if(getVelocityMinMax <= minimum){
        return minimum;
    }else{
        if(getVelocityMinMax >= maximum){
            return maximum;
        }else{
            return getVelocityMinMax;
        }
    }
}

void loop(){

    if(modoSensoresMusicaisIR == true){

        // Verifica os sensores
        nota_musical = 0;
        if( verificaProximidadeIr(SENSOR_MUSICAL_IR_1) ){
            nota_musical = 1;
        }else{
            if( verificaProximidadeIr(SENSOR_MUSICAL_IR_2) ){
                nota_musical = 2;
            }else{
                if( verificaProximidadeIr(SENSOR_MUSICAL_IR_3) ){
                    nota_musical = 3;
                }
            }
        }
    }

    switch(nota_musical){

```

```

case 0:
    break;
case 1:
    analogWrite(NOTA_PWM_A, 255);
    delay(5);
    analogWrite(NOTA_PWM_A, 0);
    break;
case 2:
    analogWrite(NOTA_PWM_B, 255);
    delay(5);
    analogWrite(NOTA_PWM_B, 0);
    break;
case 3:
    analogWrite(NOTA_PWM_C, 255);
    delay(5);
    analogWrite(NOTA_PWM_C, 0);
    break;
} // End "Verifica nota musical"

} // End "Modo Sensores Musicais IR"

if(modoStereo == true){

    if(MIDI_IN.read()){
        // Verifica o tipo de mensagem
        switch(MIDI_IN.getType()){

            // NoteOn
            case midi::NoteOn:
                // Verifica a nota a ser tocada
                switch(MIDI_IN.getData1()){

                    //
                    case 35:
                        analogWrite(NOTA_PWM_A, getVelocityMinMax(MIDI_IN.getData2(), 70, 255) );
                        break;
                    case 36:
                        analogWrite(NOTA_PWM_A, getVelocityMinMax(MIDI_IN.getData2(), 70, 255) );
                        break;

                    // TAROLA
                    case 38:
                        analogWrite(NOTA_PWM_B, getVelocityMinMax(MIDI_IN.getData2(), 60, 255) );
                        break;
                    case 40:
                        analogWrite(NOTA_PWM_B, getVelocityMinMax(MIDI_IN.getData2(), 60, 255) );
                        break;

                    case 42:
                        analogWrite(NOTA_PWM_F, 0); // Prato de choque fechado
                        analogWrite(NOTA_PWM_C, getVelocityMinMax(MIDI_IN.getData2(), 70, 255) );
                        break;
                    case 46:
                        analogWrite(NOTA_PWM_F, 255); // Prato de choque aberto
                        analogWrite(NOTA_PWM_C, getVelocityMinMax(MIDI_IN.getData2(), 70, 255) );
                        break;

                    // TIMBALÕES VÁRIOS
                    case 41:
                        analogWrite(NOTA_PWM_D, getVelocityMinMax(MIDI_IN.getData2(), 70, 255) );

```

```

        break;
case 43:
    analogWrite(NOTA_PWM_D, getVelocityMinMax(MIDI_IN.getData2(), 70, 255) );
    break;
case 45:
    analogWrite(NOTA_PWM_D, getVelocityMinMax(MIDI_IN.getData2(), 70, 255) );
    break;
case 47:
    analogWrite(NOTA_PWM_D, getVelocityMinMax(MIDI_IN.getData2(), 70, 255) );
    break;
case 48:
    analogWrite(NOTA_PWM_D, getVelocityMinMax(MIDI_IN.getData2(), 70, 255) );
    break;
case 50:
    analogWrite(NOTA_PWM_D, getVelocityMinMax(MIDI_IN.getData2(), 70, 255) );
    break;

// PRATOS VÁRIOS
case 49:
    analogWrite(NOTA_PWM_E, getVelocityMinMax(MIDI_IN.getData2(), 60, 255) );
    break;
case 51:
    analogWrite(NOTA_PWM_E, getVelocityMinMax(MIDI_IN.getData2(), 60, 255) );
    break;
case 52:
    analogWrite(NOTA_PWM_E, getVelocityMinMax(MIDI_IN.getData2(), 60, 255) );
    break;
case 53:
    analogWrite(NOTA_PWM_E, getVelocityMinMax(MIDI_IN.getData2(), 60, 255) );
    break;
case 54:
    analogWrite(NOTA_PWM_E, getVelocityMinMax(MIDI_IN.getData2(), 60, 255) );
    break;
case 55:
    analogWrite(NOTA_PWM_E, getVelocityMinMax(MIDI_IN.getData2(), 60, 255) );
    break;
case 59:
    analogWrite(NOTA_PWM_E, getVelocityMinMax(MIDI_IN.getData2(), 60, 255) );
    break;

}break; // End "NoteOn"

case midi::NoteOff:
    // Verifica a nota a ser fechada
    switch(MIDI_IN.getData1()){

        //
        case 35:
            analogWrite(NOTA_PWM_A, 0);
            break;
        case 36:
            analogWrite(NOTA_PWM_A, 0);
            break;
        // TAROLA
        case 38:
            analogWrite(NOTA_PWM_B, 0);
            break;
        case 40:
            analogWrite(NOTA_PWM_B, 0);
            break;

```

```

// PRATO DE CHOQUE
case 42:
    analogWrite(NOTA_PWM_C, 0);
    break;
case 44:
    analogWrite(NOTA_PWM_F, 0); //
    break;
case 46:
    analogWrite(NOTA_PWM_C, 0);
    break;

// TIMBALÕES VÁRIOS
case 41:
    analogWrite(NOTA_PWM_D, 0);
    break;
case 43:
    analogWrite(NOTA_PWM_D, 0);
    break;
case 45:
    analogWrite(NOTA_PWM_D, 0);
    break;
case 47:
    analogWrite(NOTA_PWM_D, 0);
    break;
case 48:
    analogWrite(NOTA_PWM_D, 0);
    break;
case 50:
    analogWrite(NOTA_PWM_D, 0);
    break;
// PRATOS VÁRIOS
case 49:
    analogWrite(NOTA_PWM_E, 0);
    break;
case 51:
    analogWrite(NOTA_PWM_E, 0);
    break;
case 52:
    analogWrite(NOTA_PWM_E, 0);
    break;
case 53:
    analogWrite(NOTA_PWM_E, 0);
    break;
case 54:
    analogWrite(NOTA_PWM_E, 0);
    break;
case 55:
    analogWrite(NOTA_PWM_E, 0);
    break;
case 59:
    analogWrite(NOTA_PWM_E, 0);
    break;
}
break; // End "NoteOff"
} // End "Verifica tipo de mensagem MIDI"
} // End "Verifica mensagem MIDI_IN"
} // End "Modo MIDI"

} // End "MAIN LOOP"

```

Anexo D - Descrição geral do hardware de apoio à execução do Projecto.

- **Interface MIDI *ESI MU8*** - É um módulo autónomo, com 8 entradas MIDI IN e 8 saídas MIDI OUT, com as seguintes funcionalidades: - pode receber simultaneamente cada um dos 8 canais e reenvia-los para a saída com o mesmo número (IN 1-OUT 1, IN 2-OUT 2, etc.);
- pode receber só no IN 1 ou no IN 8 e reenviar o mesmo sinal para as 8 saídas em simultâneo;
- pode, via USB/computador, interagir indiscriminadamente com um máximo de 8 entradas e 8 saídas MIDI; dependerá essencialmente das características do software, dado que a operação de 16 canais MIDI em simultâneo é já muito acessível para qualquer computador caseiro há mais de uma década. Pode, por exemplo, mapear em qualquer MaxPatch receber sinal MIDI no canal 1 e enviá-lo para o 7 e para o 8, enquanto recebe no canal 2 e reenvia para as restantes saídas 1, 2, 3, 4, 5 e 6.

- Computador:

Hardware: HP 530, 2G RAM, 320G disco rígido, 2 portas USB.

Sistema operativo Windows 7. Software fundamental aos testes: *Band-in-a-Box*, *Cool*

Edit, *ProTracks*, *Plus*, *MAX/MSP*, *KIN.RYTHMICATOR*.

- **Teclado controlador MIDI *Yamaha NP-30*** com 76 teclas;

- **Teclado controlador MIDI** do fabricante *MIDITECH*, MODELO *MIDISTART-3*, com 49 teclas;

- **Teclado controlador MIDI Korg 01WFD.** Ícone do início da década de 1990, é uma workstation que integra teclado controlador de cinco oitavas, sintetizador e sequenciador de 16 pistas. Comunica através de portas MIDI IN, MIDI OUT e MIDI THRU. Armazena informação em disquetes de 3,5".
- **Controlador MIDI para guitarra** modelo ZD3 do fabricante KORG.
- **Mesa de mistura** Soundcraft Spirit Folio Notepad de 8 canais;
- **Amplificador dedicado para 4 headphones/auscultadores**, marca PROEL, modelo HAP10; headphones/auscultadores diversos;
- **Colunas de monitorização** diversas;
- **Fontes de alimentação** diversas e cablagem diversa.