

O SOM DOS DADOS

Sonificação Musical de Emoções
expressas no *Twitter*

Mariana Seça

DISSERTAÇÃO EM
DESIGN E MULTIMÉDIA

ORIENTAÇÃO

Amílcar Cardoso
Pedro Martins

COLABORAÇÃO

Rui (Buga) Lopes

Faculdade de Ciências e Tecnologia da
Universidade de Coimbra

Julho 2017

O SOM DOS DADOS

Sonificação Musical de Emoções expressas no *Twitter*

Mariana Seíça Paiva de Carvalho

marianac@student.dei.uc.pt

Mestrado em Design e Multimédia

Faculdade de Ciências e Tecnologia

Universidade de Coimbra

—

Orientação

Fernando Amílcar Bandeira Cardoso

Pedro José Mendes Martins

Júri

António Manuel Sucena Silveira Gomes

Licínio Gomes Roque

Colaboração

Rui (Buga) Lopes

Julho de 2017



AGRADECIMENTOS

Ao Professor Amílcar Cardoso pela disponibilidade e suporte desde o meu primeiro ano neste Departamento, e pela oportunidade e experiência ao longo desta dissertação.

Ao Professor Pedro Martins pelo apoio, motivação e disponibilidade, e por todas as partilhas musicais.

Ao Buga pela incansável e preciosa ajuda, e pelo entusiasmo contagiante, sem os quais esta dissertação não teria alcançado estes resultados.

Aos restantes docentes de Design e Multimédia que contribuíram para este percurso.

Aos meus amigos do curso com quem partilhei dúvidas, ideias e forças para continuar, e com quem tanto vivi e cresci desde 2010.

A todos os que contribuíram para a avaliação dos resultados obtidos, e disponibilizaram um pouco do seu tempo para me ajudar.

Ao Giovani, Gonçalo e Leonor pela amizade, partilha e ajuda, e por serem os meus três pilares de suporte de tantos anos.

Aos meus pais pela compreensão, pela oportunidade, pelo incentivo e por me guiarem nesta caminhada, e à minha mãe por ser a minha inspiração académica.

À minha irmã pelo tempo e suporte sempre que precisei, pelo entusiasmo, honestidade e inspiração artística.

Ao Paulo pela paciência, aceitação, por acreditar sempre em mim, e pela força incondicional em todos os aspectos da minha vida.

À Susana e pessoal do Sítio de Sons e do CAIC, que me ajudaram a perceber ao longo destes anos o quanto a música é importante para mim.

A todos os que me inspiraram a querer mais, e a acreditar que podia ser mais.

À música.

RESUMO

O som é um fenómeno físico intrinsecamente ligado ao ser humano, com a audição que o capta a servir como um dos sentidos mais complexos e poderosos na compreensão e percepção do mundo que nos rodeia. Esta característica humana é então a base de exploração da sonificação, área que procura estabelecer o som como meio de mapeamento e interpretação de dados.

Com este objectivo em mente, procura-se com este projecto aliar o fenómeno das redes sociais à sonificação, utilizando os dados do *Twitter* para extrair as emoções dos seus utilizadores. O objectivo principal é, assim, explorar o potencial da música em explorar dados tão pessoais e complexos como as emoções humanas, encontrando novas formas de as interpretar através de uma composição melódica, harmónica e rítmica. Apesar da diferença de cada indivíduo a nível de preferência e cultura musical, os resultados obtidos revelam uma percepção positiva das emoções implementadas. Este projecto demonstra, assim, a natureza expressiva da música, conseguida a partir de um processo de sonificação estruturado e compreensível ao utilizador, representando mais uma prova de sucesso do som como meio de comunicação.

Palavras-chave

Sonificação, Design de Som, Detecção de Emoções, Composição Algorítmica, *Twitter*, Análise de Sentimentos, *Display* Auditivo, Mapeamento de Dados, Extracção de Opiniões, Redes Sociais

ABSTRACT

Sound is a physical phenomenon intrinsically connected to the human being, serving as one of the most complex and powerful senses for understanding and perceiving the world around us. This human feature is then the basis for the exploration of Sonification, area that seeks to settle sound as a means to map and interpret data.

With this goal in mind, the main purpose of this project is to unite the social media phenomena with sonification, using Twitter data to extract the user's emotions and to create a sonification that communicates the world's emotions. The main goal is to explore the potential of music in translating data as personal and complex as human emotions, creating new ways of understanding them through a melodic, harmonic and rhythmic composition. Despite the musical and cultural difference for each individual, the results reveal a positive perception of the implemented emotions. This project demonstrates the expressive nature of music, achieved through a structured process of sonification, understandable by the user and representing another proof of success in sound as a way of communication.

Keywords

Sonification, Sound Design, Emotion Detection, Algorithmic Composition, Twitter, Sentiment Analysis, Auditory Display, Data Mapping, Opinion Mining, Social Media

ÍNDICE

Lista de Figuras	XV
Lista de Tabelas	XIX
Glossário	XXI
1. Introdução	1
1.1 Motivação	4
1.2 Enquadramento	5
1.2.1 <i>Twitter</i>	5
1.3 Objectivos	7
1.4 Estrutura do Documento	8
2. Estado da Arte	11
2.1 O Som	14
2.1.1 Categorias	14
2.1.2 Características	16
2.2 Sonificação	20
2.2.1 Características	21
2.2.2 Marcos históricos	22
2.2.3 Técnicas	25
2.2.4 Tecnologias	29
2.2.5 O papel da Visualização	32
2.2.6 Música e Emoções	33
2.3 Trabalhos relacionados	39
2.3.1 Sonificações	39
2.3.2 Redes sociais e comunicação <i>online</i> como fonte de dados	51
2.3.3 Emoções como fonte de dados	60

3. Metodologia	65
3.1 Objectivos	68
3.2 Processo	69
3.3 Plano de Trabalho	71
3.4 Desafios	73
4. Processamento de Dados	75
4.1 Recolha de dados	78
4.2 Análise de sentimentos	81
4.2.1 Sentimentos <i>versus</i> Emoção	81
4.2.2 Léxico de emoções	82
4.3 NLP: <i>Natural Language Processing</i>	84
4.4 Implementação e filtragem	86
4.4.1 Aplicação de NLP	86
4.4.2 Utilização do NRC	88
4.5 Avaliação dos resultados	89
5. Mapeamento Musical	93
5.1 Estudos sobre a expressividade da música	96
5.2 Parametrização e processo de mapeamento	100
5.2.1 Melodia	101
5.2.2 Harmonia	104
5.2.3 Timbre	108
6. Sistema	111
6.1 Estrutura	114
6.2 Visualização	116
7. Avaliação do Mapeamento	121
7.1 Recolha e análise de resultados	126
7.2 Reflexão	131

8. Conclusão	137
8.1 Perspectivas futuras	141
8.2 Considerações finais	144
Bibliografia	147
Apêndices	163
A Gabrielsson e Lindström (2010): tradução e adaptação da tabela de levantamento de resultados de estudos	165
B Lista de progressões utilizadas	168
C Lista de escalas associadas a cada progressão	169
D Imagens do questionário	170
E Comentários submetidos no questionário	178
F Artigo submetido e aceite na CMMR (Computer Music Multidisciplinary Research)	181

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Exemplo de uma página de <i>tweets</i> sobre o tema “sonificação”	5
Figura 2: Comparação de quatro sons de diferentes frequências	17
Figura 3: Comparação de dois sons de diferentes amplitudes	18
Figura 4: Esquema da estrutura geral e condições necessárias para uma sonificação	20
Figura 5: Esquema de um sistema de comunicação	22
Figura 6: Fotografia representativa do uso do contador de Geiger	23
Figura 7: Exemplo do primeiro estetoscópio, inventado por Laennec	23
Figura 8: Esquema das possíveis técnicas de sonificação	25
Figura 9: Mapa do processo de uma sonificação baseada em parâmetros	28
Figura 10: Esquema representativo do processo de uma sonificação baseada em modelos	29
Figura 11: Max Mathews, 1984	30
Figura 12: Primeiro sintetizador Moog, 1964	31
Figura 13: Gráfico da escala representativa da melodia de Villas-Lobos	34
Figura 14: <i>Screenshot</i> da sequência inicial do filme <i>Persona</i>	35
Figura 15: Lista de adjetivos definidos por Kate Hevner	37
Figura 16: <i>Screenshot</i> do vídeo <i>Living Symphonies</i>	39
Figuras 17 e 18: Estudos e mapeamentos desenvolvidos para análise das florestas e associação de elementos sonoros	40
Figura 19: Fotografia da capa do vinil	41
Figura 20: Fotografia do desenho do vinil, com a indicação das horas e cidades	42
Figura 21: <i>Screenshot</i> do vídeo <i>Two Trains</i>	43
Figura 22: <i>Screenshot</i> do vídeo <i>Rhapsody In Grey</i>	43
Figura 23: <i>Screenshot</i> do vídeo do “Data sonification - from deep space research to improving lives through cancer research”	44
Figura 24: <i>Screenshot</i> do vídeo <i>Solar Wind Radio</i>	45
Figura 25: <i>Screenshot</i> do vídeo <i>150 years of global warming in a minute-long symphony</i>	46
Figura 26: Local de perfuração do projecto <i>Greenland Ice Sheet Project II (GISP2)</i>	47
Figura 27: Página inicial da partitura de <i>The Climate Symphony</i>	48

Figura 28: Screenshot do vídeo ““Cloud Chamber” subatomic particle duet performed at California Academy of Sciences“	49
Figura 29: Gráfico do valor de valência recolhido da análise de letras de Bowie	50
Figura 30: Exibição do <i>Listening Post</i> no MIT List VisualArts Center, em 2004	51
Figura 31: Screenshot do site <i>Listen to the Wikipedia</i>	52
Figura 32: Screenshot da página principal do site <i>We Feel Fine</i>	53
Figura 33: Screenshot da página principal do site <i>We Feel Fine</i> , organizada pela opção <i>Murmurs</i>	53
Figura 34: Screenshot do vídeo “#tweetscapes - listen to twitter“	54
Figura 35: Screenshot do vídeo “What happens on Twitter when Germany scores - Euro 2012“	55
Figura 36: Screenshot da visualização do tipo “Sentiment“ da aplicação <i>Tweet Sentiment Visualization</i>	56
Figura 37: Screenshot da visualização do tipo “Tag Cloud“ da aplicação <i>Tweet Sentiment Visualization</i>	57
Figura 38: Screenshot da visualização <i>We Feel</i>	58
Figura 39: Screenshot da emoção “hurt“ na visualização <i>We Feel</i>	58
Figura 40: Fotografia do objecto proposto em <i>Moodlight</i>	59
Figura 41: Screenshot do vídeo “Emotion Driven Audio“	60
Figura 42: Resumo do mapeamento baseado no modelo de valência / arousal de Russel	61
Figura 43: Fotografia da apresentação da instalação na ZDB em Lisboa (2009)	62
Figura 44: Screenshot do vídeo “Audible Emotions“	63
Figura 45: Esquema representativo do processo	70
Figura 46: Esquema representativo do plano de tarefas	71
Figura 47: Exemplo de um <i>tweet</i>	80
Figura 48: Modelo dimensional ou circumplexo de emoções de Russel	82
Figura 49: Modelo de emoções de Robert Plutchik	83
Figura 50: Exemplo da definição da estrutura gramatical e dependências	84
Figura 51: Exemplo de reconhecimento de entidades	85
Figura 52: <i>Tweet</i> de exemplo da análise actual	89
Figura 53: <i>Tweet</i> de exemplo da análise actual, com o modelo de classificação adaptado ao Twitter	90
Figura 54: Esquema de associação das emoções a uma classificação positiva / negativa	97
Figura 55: Conjunto possível de oitavas e notas iniciais	100

Figura 56: Esquema de mapeamento da melodia a nível rítmico e de tipo de nota	101
Figura 57: Esquema sobre relação de forças no ritmo harmónico	102
Figura 58: Conjunto de escalas possíveis para a melodia	103
Figura 59: Conjunto de acordes definidos para as progressões	105
Figura 60: <i>Voicings</i> possíveis para os acordes	106
Figura 61: Exemplos de progressões harmónicas	107
Figura 62: Esquema da comunicação entre <i>softwares</i> do sistema implementado, e respectivas tarefas	113
Figura 63: <i>Screenshot</i> da visualização (área total)	115
Figura 64: <i>Screenshot</i> aproximado da visualização , com o filtro “ <i>trump</i> ” e com tweet de <i>Raiva</i> destacado	116
Figura 65: <i>Screenshot</i> aproximado da visualização , com o filtro “ <i>trump</i> ” e com tweet de <i>Tristeza</i> destacado	116
Figura 66: <i>Screenshot</i> da 1ª pergunta do questionário, como exemplo de perguntas do 1º <i>set</i>	122
Figura 67: <i>Screenshot</i> da 1ª pergunta do questionário, como exemplo de perguntas do 2º <i>set</i>	122
Figura 68: Pares de emoções escolhidos para o segundo conjunto de perguntas, a partir do modelo de Plutchik	123
Figura 69: Gráfico dos resultados relativos às perguntas de associação	124
Figura 70: Gráfico dos resultados relativos às perguntas de selecção	125
Figura 71: Gráfico dos resultados relativos ao 2º conjunto de perguntas (de comparação)	126
Figura 72: Gráfico do nível de conhecimento musical	127
Figura 73: Gráfico de comparação entre a média/mediana e média/desvio-padrão do conhecimento musical dos participantes que responderam correctamente no 1º e 2º <i>set</i> de perguntas	128

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Associação dos parâmetros sonoros a musicais e à percepção humana	16
Tabela 2: Excerto da tabela-síntese do trabalho de Gabriel e Lindström	38
Tabela 3: Conteúdos de um <i>tweet</i> , traduzidos da documentação do site oficial do <i>Twitter</i> para <i>developers</i>	78
Tabela 4: Lista, por ordem alfabética, das etiquetas de “ <i>Part-of-Speech Tagging</i> ” usado no projecto <i>Treebank</i>	87
Tabela 5: Associação das oito emoções de Plutchik a palavras relacionadas dos estudos de Gabrielsson e Lindström	96
Tabela 6: Esquema de mapeamento da melodia a nível de intervalos	102
Tabela 7: Lista de perguntas do questionário, com as emoções associadas e tipos de resposta	121
Tabela 8: Lista de alguns comentários submetidos	131

GLOSSÁRIO

Acorde

Combinação de duas ou mais notas tocadas em simultâneo (Waite, 1987).

Célula

Termo da composição musical que descreve um elemento cíclico (Nattiez, 1990), composto por figuras rítmicas construída em relação a um ponto de referência (uma batida ou um compasso, por exemplo).

Cromatismo

Utilização de um tom que não pertence a uma tonalidade (Aldwell & Schachter, 2003).

Escala

Organização de intervalos relativos à tónica (Ligon, 2001); conjunto de todos os tons pertencentes a uma tonalidade, dispostos por ordem consecutiva (Aldwell & Schachter, 2003).

Grau

Representado por um numeral romano, indica a sua função e posição dentro de uma tonalidade (Waite, 1987).

Harmonia

Aspecto musical focado nas relações entre acordes (Aldwell & Schachter, 2003).

Intervalo

Distância entre dois tons numa linha melódica ou acorde (Ligon, 2001). Na música ocidental, o intervalo mais pequeno é denominado “meio-tom” (Waite, 1987).

MIDI

Sigla de *Musical Instrument Digital Interface*, um protocolo criado em 1984 que permite o controlo de som através de mensagens básicas (Kramer et al., 1998).

Modo

Escala construída a partir de uma das notas constituintes de uma escala. Dentro da escala maior, há sete modos, referentes a sete diferentes sistemas tonais diferentes, provenientes da estrutura de intervalos que cada um constrói (Aldwell & Schachter, 2003).

Motivo

Idea musical de curta duração utilizada para desenvolvimento motivico, cujo contexto rítmico é tão ou mais importante que a estrutura melódica (Ligon (2001); pode conter ou mais células (Nattiez, 1990).

Natureza

Tamanho dos intervalos que constituem um acorde. É muitas vezes referida como a “cor” do acorde.

Oitava

Dois tons separados por um intervalo de oitava, equivalente a 6 tons (Aldwell & Schachter, 2003).

Progressão

Movimentação harmónica de um acorde para outro (Waite, 1987).

Tonalidade

Escala-mãe de onde deriva uma progressão (Waite, 1987); escala equivalente ao tom central de uma progressão, com o qual os vários tons se relacionam e assumem funções relativas ao mesmo (Aldwell & Schachter, 2003).

Tónica

Nota inicial de uma escala ou acorde (Waite, 1987), e tom central de uma tonalidade (Aldwell & Schachter, 2003).

Tríade

Acorde composto por três notas: tónica ou fundamental, terceira e quinta (Waite, 1987).

Voicing

Disposição das notas constituintes de um acorde (Waite, 1987).

1 INTRODUÇÃO

Motivação

Enquadramento

Objectivos

Estrutura do Documento

1 INTRODUÇÃO

O ser humano possui um sistema de audição complexo e repleto de potencial, capaz de identificar fontes sonoras dos mais variados tipos e em inúmeras circunstâncias. Surge então a questão: porque não utilizar o som como ferramenta principal de representação de dados e transmissão de informação? Respostas a esta pergunta são exploradas desde o início do século XX, mas foi só em 1992, com o estabelecimento da *International Community of Auditory Display (ICAD)*, que a Sonificação obteve reconhecimento como área de investigação. É definida como a disciplina que estuda o uso de áudio não falado para transmitir informação (Kramer et al., 1998), e sobre a qual explorações e avanços têm vindo a ganhar cada vez mais investigadores e olhares curiosos. Instalada assim como uma disciplina de pesquisa e especialização, aborda os mais variados campos de aplicação, desde Psicologia, Música, Linguística, Ciências Sociais, a Engenharia de Som, Física e Informática (Hermann, Hunt & Neuhoff, 2011). São vastos os dados possíveis de mapeamento, traduzindo temas das mais variadas áreas e construindo sonificações variadas.

A extracção de emoções e sentimentos de texto tem sido uma área de interesse substancial, pelo potencial sociológico e comercial. Surge assim o interesse de sonificar esta informação emocional, ou seja, de a mapear sobre um conjunto de parâmetros de um processo de geração sonora.

Com o crescimento substancial das redes sociais desde o aparecimento do *Facebook*, em 2004, e do *Twitter*, em 2006, estas passaram a ser o novo meio de comunicação e partilha de opinião, não só do cidadão comum, como também de empresas, meios de imprensa e figuras conhecidas. A análise das redes sociais veio trazer grandes potenciais de estudo, quer a nível de *marketing*, extraindo a opinião de consumidores, quer a nível sociológico, desde a exposição emocional à opinião pessoal sobre acontecimentos nacionais e mundiais. Este panorama foi por isso o escolhido como fonte de extracção das emoções, utilizando música como o meio principal de transmissão de dados. Daniel Levitin, neurocientista da Universidade McGill, em Montreal, refere que “a música nos afecta porque representa uma metáfora para a vida emocional: tem picos e vales de tensão e relaxe, imitando a dinâmica da nossa própria vida emocional” (Levitin, citado por Silver, 2013). A música é assim a principal ferramenta de comunicação para o desafio que esta sonificação enfrenta: construir uma sonificação que transmita a natureza emocional dos dados, revelada pela partilha de opiniões e sentimentos no *Twitter*.

1.1 Motivação

A principal motivação para este trabalho encontra-se no grande gosto pela música, actividade paralela ao curso há alguns anos que traz uma grande satisfação pessoal. Ao surgir a possibilidade de poder trabalhar o som e de aliar a música à prática do design, nomeadamente com a exploração tecnológica de ferramentas de mapeamento e construção sonora, foi clara a escolha do tema para a dissertação. É ainda um factor aliciante a sonificação ser uma área com tantos caminhos por explorar, que espicaçam a curiosidade e a vontade de investigação.

Outra razão prende-se no interesse pela área de Arte Computacional, que traduz o equilíbrio entre Arte, Design e Tecnologia, produzindo resultados artísticos e tecnologicamente relevantes. Este jogo entre as três áreas constitui também um desafio acrescido, pela necessidade de conhecimentos e exploração das várias vertentes, tornando o trabalho ainda mais cativante.

1.2 Enquadramento

A Sonificação de Informação é a principal área de estudo desta dissertação. Este projecto procura investigar formas e técnicas de mapeamento sonoro de emoções, previamente retiradas do *Twitter*. O desafio será criar um contexto sonoro que, através das suas características musicais, traduza naturalmente e de forma distinta cada uma das emoções.

A Linguística também está incluída na abordagem deste tema, com o uso de bibliotecas já existentes que aplicam análises sintácticas e de estrutura gramatical dos textos nos *tweets*.

1.2.1 Twitter

As redes sociais estabeleceram-se, com o crescimento e acessibilidade da tecnologia ao cidadão comum, como um dos meios de comunicação mais utilizados na rotina diária. O *Facebook* e o *Twitter* (Figura 1) tornaram-se, assim, meios de partilha de opinião e de sentimentos e uma expressão genuína dos utilizadores, fornecendo uma visão autêntica dos acontecimentos não só a nível mundial, como nacional e pessoal do dia-a-dia.

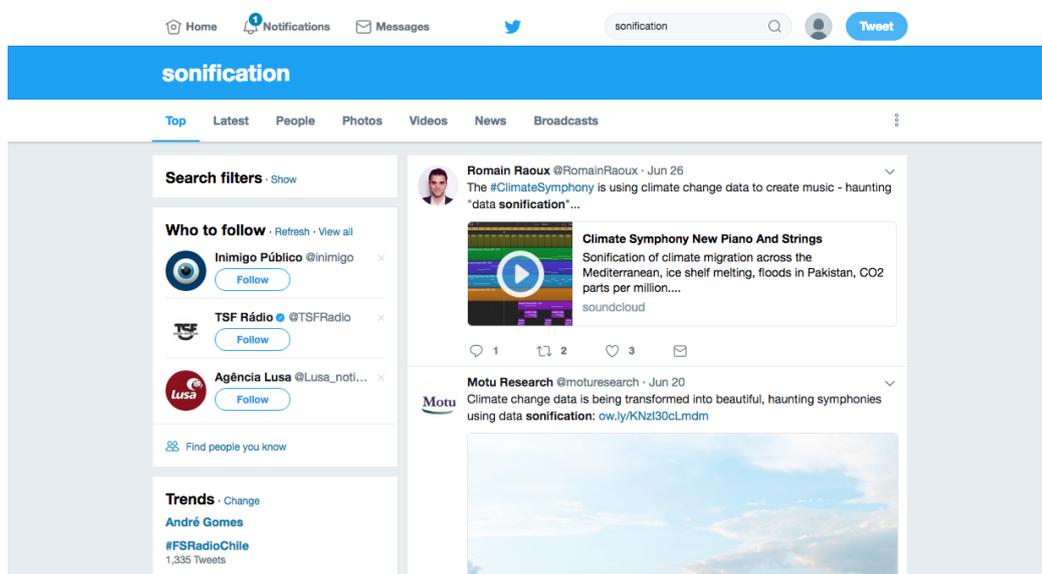


Figura 1: Exemplo de uma página de *tweets* sobre o tema "sonificação"

Fonte: <https://twitter.com/>

Com mais de 310 milhões de utilizadores mensalmente activos (Smith, 2016), o *Twitter* é das mais conhecidas ferramentas de partilha *online*. Criado em 2006, o crescimento da plataforma foi substancial de ano para ano, com 5000 *tweets* por dia em 2007 a 500 milhões em 2013 (Internet Live Stats, 2017). “Oferecer a todos o poder de criar e partilhar ideias e informação de forma instantânea, sem barreiras“. Esta é a missão que o *Twitter* se propõe a cumprir, retirada do site oficial.

O *Twitter* caracteriza-se como uma ferramenta de *microblogging*, que permite aos seus utilizadores a partilha de mensagens curtas (até 140 caracteres), incluindo *links* para imagens ou vídeos, denominados *tweets*. Estes incluem também a funcionalidade talvez mais característica do *Twitter*, as *hashtags*, estruturas de metadados que se definem como uma ou mais palavras precedidas por um cardinal. Estas indicam, na sua generalidade, o tópico do *tweet*, contribuindo para a contextualização do tema e possível emocionalidade do autor. Além disso, permitem um agrupamento de *tweets* por *hashtags*, associando *tweets* para cada tema que facilitam o acesso a opiniões sobre determinados eventos / tópicos. Por este formato de partilha rápida e sucinta, com a conexão de temas através das *hashtags*, o *Twitter* foi escolhido como fonte principal de recolha de dados para esta sonificação.

1.3 Objectivos

O objectivo principal desta dissertação é a criação de uma sonificação musical, construída de forma a expressar a natureza emocional dos dados recolhidos.

Este objectivo implica o estudo não só das principais técnicas de sonificação, que traduzam os dados escritos para sonoros de forma coerente e estruturada, como também de teoria musical, procurando parâmetros musicais que melhor transponham o mapeamento definido, o que torna estas aprendizagens objectivos gerais adjacentes.

1.4 Estrutura do Documento

Após introdução, o segundo capítulo, **Estado da Arte**, aborda toda a investigação teórica desta dissertação. Inicia-se com uma breve descrição sobre o som e características principais, seguindo-se um estudo sobre a sonificação, que inclui definição, características, marcos históricos que retratam a evolução da sonificação, as principais tecnologias e técnicas associadas, e ainda uma pequena reflexão sobre o papel da Visualização de Informação na Sonificação, e sobre a ligação entre música e emoções. Por último, inclui os trabalhos relacionados, divididos por três temas: primeiro são listadas sonificações de diversas áreas, seguindo-se um conjunto de trabalhos que utilizam as redes sociais como fonte de dados, e ainda um terceiro conjunto que se foca na comunicação de emoções.

O terceiro capítulo, **Metodologia**, engloba os aspectos formais deste trabalho, explicando os objectivos específicos, o processo e abordagem adoptada, o plano de tarefas e a respectiva explicação.

O quarto capítulo, **Processamento de Dados**, aborda a recolha e análise dos *tweets*, descrevendo a pesquisa e escolha do léxico de emoções a utilizar, a análise e classificação linguística dos *tweets* para categorização emocional, e aplicação do léxico escolhido com os resultados obtidos, reflectindo sobre algumas falhas e possíveis soluções futuras.

O quinto capítulo, **Mapeamento Musical**, engloba o foco principal deste projecto, detalhando a parametrização musical implementada. Inicia-se com uma pequena análise de estudos sobre a expressividade da música, seguindo-se o processo de mapeamento, aprofundando todos os esquemas e noções de teoria musical associadas a cada emoção na construção da melodia, harmonia e timbre.

O sexto capítulo, **Sistema**, centra-se no sistema desenvolvido, com uma descrição da comunicação entre *softwares* e tarefas realizadas por cada um. É também detalhada a visualização construída, especificando os objectivos, o paradigma implementado e as limitações encontradas.

O sétimo capítulo, **Avaliação do Mapeamento**, engloba o questionário divulgado e os resultados obtidos. São esclarecidos os objectivos das perguntas constituintes do questionário e a plataforma de divulgação. A análise dos resultados é feita através de um conjunto de gráficos, reflectindo sobre as respostas submetidas e as possíveis melhorias.

O oitavo capítulo, **Conclusão**, sumariza o desenvolvimento deste projecto e os resultados obtidos, ponderando os objectivos propostos e os avanços conseguidos. São também referidas algumas perspectivas futuras, não só de aspectos a melhorar no sistema implementado, como também a possível expansão do mesmo.

Após a bibliografia, encontram-se ainda alguns apêndices, com elementos do projecto mais detalhados, incluindo uma tabela de levantamento de um estudo, as listas completas de progressões e escalas implementadas, o questionário realizado e ainda a lista de comentários submetidos no mesmo.

2 ESTADO DA ARTE

O Som

Sonificação

Trabalhos Relacionados

2 ESTADO DA ARTE

Foi em 1992 que nasceu a *International Community of Auditory Display (ICAD)*, que visou estabelecer cientificamente o estudo de *displays* auditivos como disciplina de investigação.

Citando Hermann, Hunt e Neuhoff (2011), “é fascinante ver como as técnicas de Sonificação e *Displays* Auditivos evoluíram em relativamente poucos anos após a sua definição, e como o ritmo de desenvolvimento continua a aumentar”. Com aplicações nas mais variadas áreas, tornou-se um campo interdisciplinar, exigindo conceitos e aprendizagem de temas desde a Psicologia à Linguística, e inserindo-se, actualmente, como uma ferramenta de interacção em áreas desde a Medicina à Sismologia. A Sonificação surge assim como uma sub-área do estudo de *displays* auditivos, procurando o tratamento e a renderização de um elemento como tradução de dados e forma de interacção: o som.

2.1 O Som

O som é o resultado de variações da pressão, ou oscilações, num meio elástico (ar, água, sólidos), gerado por uma superfície vibratória (Hansen, 1951). A vibração pode ser gerada “por um diapasão, uma corda de uma guitarra, uma coluna de ar do tubo de um órgão, uma tarola, (...), ou pelas cordas vocais” (Hillenbrand, 2016).

Vivemos o nosso quotidiano rodeados por estas variações, que produzem constantes estímulos sonoros que utilizamos para compreender os elementos que nos rodeiam. Nesse dia-a-dia, a visão é considerada o mais importante dos nossos sentidos, que utilizamos maioritariamente nessa leitura do que nos rodeia. Contudo, a vantagem do campo auditivo é que nos permite captar informação sonora de objectos fora do nosso campo de visão (Röber & Masuch, 2004). Hermann, Hunt e Neuhoff (2011) referem a vantagem do sistema auditivo humano, complexo e impressionante ao ponto de identificar fontes sonoras, palavras e até melodias em ambientes ruidosos. Além disso, a capacidade de captar múltiplas camadas sonoras potencia o objectivo de utilizar o som como meio de comunicação de dados, desde “extrair o significado de uma palavra, o tom emocional do orador, a ouvir uma sinfonia e focar a atenção a um instrumento individual, ou à orquestra como um todo”.

É claro que, sendo um sentido não tão estimulado como a visão na vida diária, torna-se arriscado o uso isolado do som para transmitir informação. Já foi provado que o ser humano possui uma memória limitada para timbres e sons abstractos, quando comparados a gráficos visuais abstractos (Dingler, Lindsay & Walker citado em McGee, 2009). Mas é também outra característica a capacidade de aprendizagem e melhoria da discriminação de estímulos auditivos (Hermann, Hunt & Neuhoff, 2011). É, assim, comum os estímulos sonoros estarem associados a estímulos visuais, cuja combinação produz um desenho completo do ambiente que nos envolve. É com esta combinação que, gradualmente, se contribui para o aumento das capacidades de discriminação sonora e a consciência da importância destes estímulos.

2.1.1 Categorias

Walker & Nees (2011) referem que estes estímulos sonoros se definem em quatro categorias principais:

1. Alarmes, alertas e avisos;
2. Monitorização e estados indicativos de funções;

3. Exploração de dados;

4. Arte, entretenimento, desporto e exercício.

A primeira categoria engloba sons que traduzem alguma mudança no ambiente que requer a atenção, por vezes urgente, do utilizador, sinais de aviso de que algo terminou ou que ainda está para acontecer. Exemplos deste tipo de estímulo incluem o som de fim de funcionamento de um microondas, da campainha da porta ou de um alarme de incêndio.

A segunda categoria engloba cenários que contêm mais informação sonora, com sons referentes ao estado de um dado processo, tornando-se indicadores dinâmicos que guiam o utilizador ao longo da tarefa. Os sons que traduzem o ligar e desligar de um computador, a instalação de um programa ou a pressão sanguínea num paciente são alguns dos exemplos.

A terceira categoria equivale à sub-área referida na introdução: a sonificação. Esta explora a tradução de dados para fontes sonoras, construindo um retrato sonoro dos mesmos com uma série de camadas, cada uma referente a um aspecto dos dados. Exemplos de sonificação incluem desde a tradução de dados científicos, como características dos ventos solares e dados recolhidos por sondas espaciais, dados sociológicos, como a movimentação das pessoas num espaço urbano, entre outros.

A quarta e última categoria refere-se a interfaces sonoras para actividades de lazer, desde “versões somente auditivas de jogos como as Torres de Hanoi (Winberg & Hellstrom, 2001) ou os Space Invaders (McCrindle & Symons, 2000)” (Hermann, Hunt & Neuhoff (2011); jogos e *displays* focados na facilitação e acesso a pessoas com debilidades visuais; ambientes sonoros que potenciam experiências visuais, em exposições e instalações artísticas; ou composições musicais criadas algorítmicamente por computadores. Uma sub-área de entretenimento que também estabelece o uso do som como transmissão de informação é a arte cinematográfica. O som tem sido usado em filmes de forma extensiva para contribuir para a experiência do espectador, usado para adicionar informação à narrativa e para realçar qualidades e características da mesma (Serafin et al., 2011).

As duas primeiras categorias inserem-se na nossa vida diária constantemente, onde de forma já inconsciente respondemos a estes estímulos e estranhámos quando não ocorrem. As duas seguintes já se relacionam mais com a investigação de modos de tradução de dados em fontes sonoras, explorando novos usos do som e novas formas de experienciar meios de entretenimento.

Para além destas quatro categorias listadas por Walker e Nees (2011), podemos ainda acrescentar uma área, influente na transmissão de informação e presente em pequenos nichos quotidianos, denominada identidade sonora (*sonic*

branding). Caracteriza-se pela promoção de uma marca usando som, nomeadamente música (Jackson, citado por Gustafsson, 2011). A exploração da identidade sonora tem ganho importância estratégica na promoção de marcas, pela capacidade com que a música afecta directamente os consumidores ao invocar memórias e sentimentos associados (Gustafsson, 2011). Esta habilidade, associada ao modo como o ser humano capta constantemente o mundo através da audição (Kassabian, citado por Gustafsson, 2011), torna-se um método subtil e eficaz na transmissão de informação e no sucesso das marcas junto aos consumidores.

O design de som é assim uma área promissora para produtos comerciais, quer no estabelecimento da identidade da marca quer nos meios de publicidade, com a sonificação a tornar-se cada vez mais um meio de comunicação em massa (Hermann, Hunt & Neuhoff, 2011). O som tem a capacidade de elevar o objecto a que se associa a um novo nível, seja num filme, publicidade, ou ligado a uma marca, enriquecendo a experiência e transportando uma carga emocional e empática que afecta o ouvinte, facilitando a transmissão dos dados e, principalmente, a memorabilidade dos mesmos.

2.1.2 Características

O som é caracterizado por três parâmetros fundamentais (Tabela 1), que influenciam a forma como o percebemos (Cipriani e Giri, 2013):

1. **Frequência:** capacidade de distinguir um som agudo de um grave;
2. **Amplitude:** capacidade de distinguir um som alto de um baixo;
3. **Onda:** capacidade de distinguir diferentes timbres;

A tabela 2 resume estas características, associando-as a parâmetros musicais e à percepção humana.

Tabela 1: Associação dos parâmetros sonoros a musicais e à percepção humana, traduzido de (Cipriani & Giri, 2013)

CARACTERÍSTICA	PARÂMETRO	SENSAÇÃO PERCEPTUAL
Frequência	Tom	Agudo ↔ Grave
Amplitude	Intensidade	Forte ↔ Suave
Onda	Timbre	Cor do som

A **frequência** é um parâmetro físico que determina a altura ou tom do som e que nos permite distinguir um som agudo de um grave. Este parâmetro utiliza uma unidade de medida chamada *hertz*, que descreve a frequência de vibração da onda sonora de um determinado timbre (Figura 2).

Cada *hertz* equivale a um ciclo por segundo, em que um ciclo descreve uma iteração do padrão de perturbação da pressão do ar. O tempo necessário para completar um ciclo é denominado o período da onda, e o número de círculos completados num segundo definem a frequência, medidos em *hertz* (Cipriani & Giri, 2013). O intervalo de frequências audível ao ser humano situa-se entre os 20 e os 20000 *hertz* (Cipriani & Giri, 2013), em que quanto mais rápida for a repetição do padrão da onda, mais alto é o valor da frequência, ou seja, mais agudo é o som.

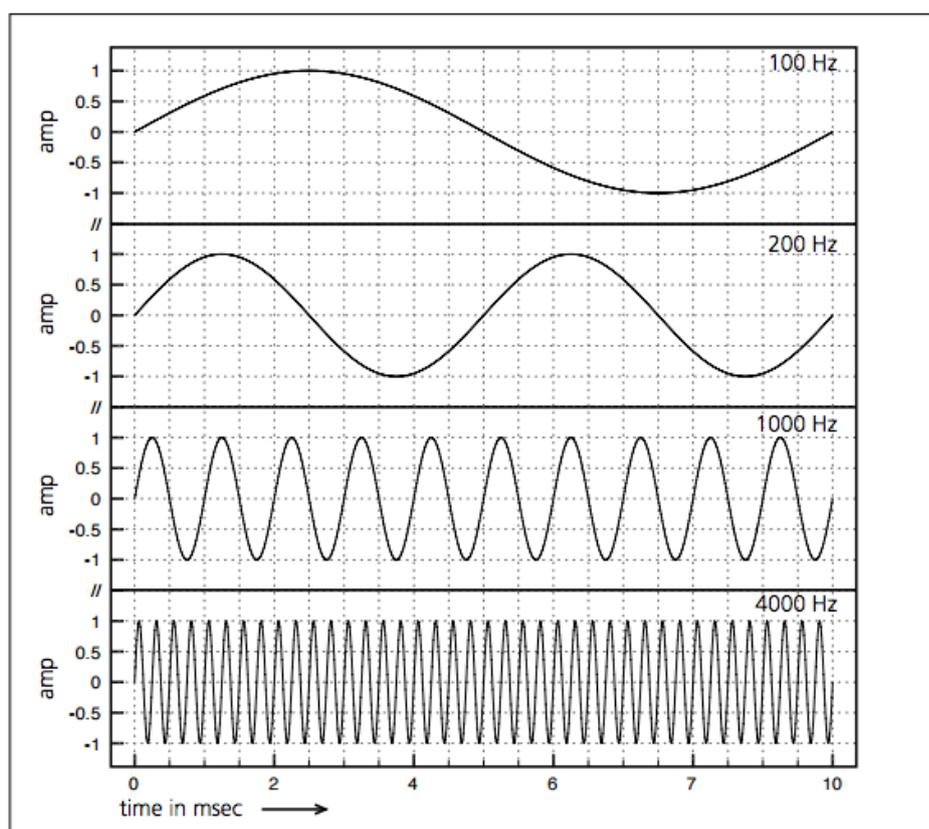


Figura 2: Comparação de quatro sons de diferentes frequências (Cipriani & Giri, 2013)

O **tom** ou altura do som define-se como sendo o fenómeno perceptual ou cognitivo do fenómeno físico que é a frequência (Burk, Polansky, Repetto, Roberts, Rockmore, 2005), sendo o termo que a define musicalmente.

Naturalmente, o ser humano não percebe a música como um conjunto

de frequências exactas, mas sim como uma sequência de intervalos que traduzem uma melodia. Existem exceções, de quem tem o chamado “ouvido absoluto”, que se caracteriza pela capacidade de identificar tons sem ser necessária uma referência de comparação. Contudo, a população no geral reconhece a relação entre as frequências e os intervalos que produzem, e não os tons exactos. Temos, assim, a tendência para organizar estes intervalos em potências de 2, percebendo a mesma diferença de frequência dos 100 Hz aos 200 Hz, e dos 200 Hz e os 400 Hz. Esta característica origina a percepção das oitavas: o Lá, por exemplo, equivale às frequências 55 Hz, 110 Hz, 220 Hz, 440 Hz ou 880 Hz (Burk et al., 2005).

A **amplitude** expressa variações na pressão do ar, que provocam diferenças na intensidade sonora e no volume com que percebemos o som. Graficamente, é representada através da altura da onda (Figura 3). O ouvido humano consegue captar sons acima do denominado “limiar da audição”, superiores a 0 décibéis (dB), unidade de medida da amplitude. O “limiar da dor” traduz, inversamente, o valor máximo que o ouvido humano consegue tolerar (Cipriani & Giri, 2013), valor que se encontra entre os 100 e os 120 dB (Burk et al., 2005).

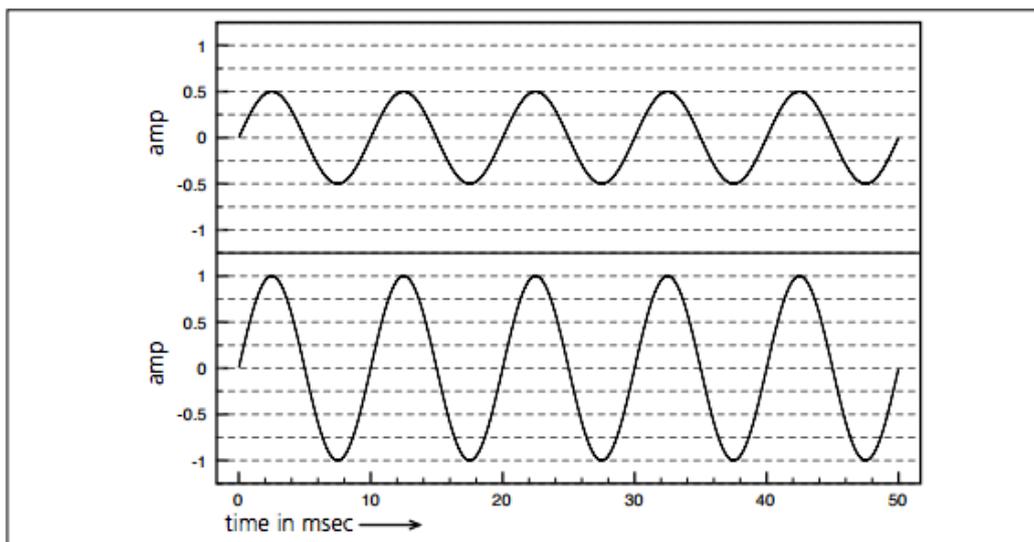


Figura 3: Comparação de dois sons de diferentes amplitudes (Cipriani & Giri, 2013)

A **intensidade**, de um ponto de vista psicoacústico, é a percepção musical da amplitude, que traduz um som forte ou um som fraco.

Apesar da amplitude ser a maior influência da intensidade, a frequência também é relevante na forma como a percebemos. Se aumentarmos a intensidade

do som acima dos 2000 Hz, mantendo a sua frequência, vamos perceber um aumento na frequência; abaixo dos 1000 Hz, ocorre o efeito contrário: ao aumentar a intensidade, surge a sensação de que a frequência diminuiu, ou seja, o som torna-se mais grave (Cipriani & Giri, 2013). Em contrapartida, a frequência também afecta a intensidade, pela sensibilidade inerente ao ouvido humano, que diminui em altas frequências, aumenta em frequências médias, e diminui drasticamente em frequências baixas (Cipriani & Giri, 2013). Esta disparidade exige um jogo entre a amplitude e a frequência, consoante a forma como se quer que um dado som seja percebido. É sempre necessário, ao pretender igual percepção sonora, ajustar a amplitude, independentemente da frequência.

A **onda** é a característica mais distinta do som, que define o timbre e a sua sonoridade. Um dos formatos mais simples e importantes da onda sonora é a seno-sóide, representada pelas duas imagens anteriores (Figuras 2 e 3): qualquer som pode ser representado como uma combinação de diferentes quantidades de senos e cossenos de diferentes frequências (Burk et al., 2005).

O timbre é, assim, a característica perceptual mais importante do som, que define a sua “cor”, o seu carácter. Reflete a distinção entre o som de uma nota tocada por uma flauta, de uma nota com a mesma frequência e amplitude tocada por um violino (Cipriani & Giri, 2013).

Burk et al. (2005) referem que o timbre pode ser definido, para além da frequência e da amplitude, por qualidades que incluem:

1. Espectro: agregado de ondas simples (geralmente sinusóides), que traduzem um som em particular;
2. Envolvente: evolução da amplitude do som, que se divide em quatro fases: ataque (a amplitude varia do valor 0 ao máximo), decaimento (a amplitude diminui até um dado patamar), sustentação (a amplitude mantém-se constante) e relaxamento (a amplitude gradualmente diminui até 0) (Cipriani & Giri, 2013). O envolvente e a evolução das suas características ao longo do tempo são fundamentais na definição do timbre, com cada instrumento caracterizado por um envolvente próprio.

Às propriedades previamente apresentadas, podemos acrescentar ainda o **panning**, que se caracteriza como a distribuição do sinal sonoro num ambiente espacial, através de dois ou mais canais. Esta característica influencia a forma como percebemos espacialmente o som, podendo ser útil na representação de informação geográfica.

2.2 Sonificação

A Sonificação, segundo Kramer et al. (1998), define-se como o uso de áudio não falado para transmitir informação, transformando relações entre os dados em relações perceptíveis num sinal acústico, de forma a facilitar a comunicação e a interpretação.

Hermann (2008) veio contestar esta definição, caracterizando-a como limitativa face aos paradigmas que foram surgindo ao longo dos anos de investigação e evolução na área. Especificamente, a introdução da sonificação baseada em modelos, em que são criados modelos interactivos de aprendizagem, fornecem um dinamismo ao processo e deixam de ser somente um mapeamento directo entre os dados e o som. Além disso, o desafio crescente do uso de métodos de sonificação na arte e na música veio evidenciar diferenças entre sonificação e música, que a definição proposta por Kramer et al. (1998) não manifesta.

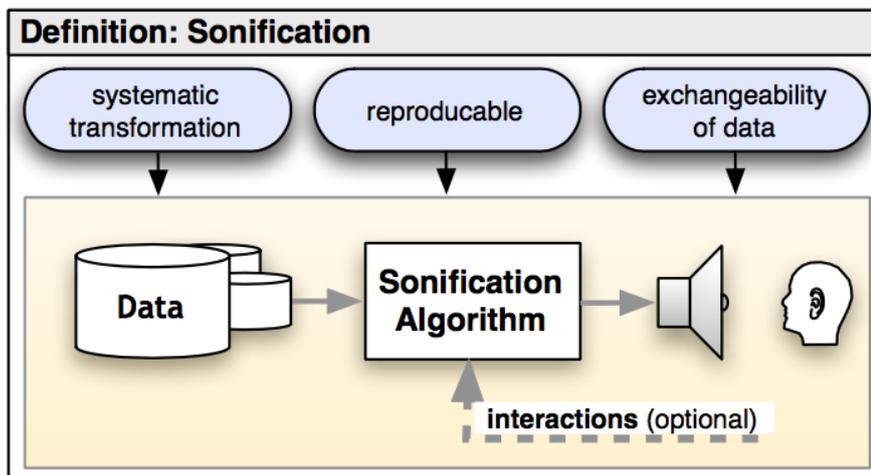


Figura 4: Esquema da estrutura geral e condições necessárias para uma sonificação (Hermann, 2008)

Com este argumento, Hermann (2008) introduziu uma nova definição: a técnica que utiliza dados como parâmetros de entrada, e gera sinais sonoros (em resposta a estímulos externos), poderá ser considerada uma sonificação, mas somente se cumprir os seguintes pontos (Figura 4):

1. O som reflectir propriedades ou relações objectivas dos dados;
2. A transformação ser sistemática, ou seja, existir uma definição precisa de como os dados causam mudanças sonoras;
3. Ser reproduzível: fornecidos os mesmos dados e interações idênticas (ou estímulos), o resultado tem de ser estruturalmente idêntico;

4. O sistema poder ser usado com outros dados de forma intencional;

A definição de Hermann (2008) não só enfatiza alguns pré-requisitos necessários para o uso da sonificação, como engloba um maior número de técnicas e métodos a utilizar na sua produção. Contudo, para este projecto, planeia-se utilizar um método de mapeamento directo, das variáveis determinadas nos dados para o respectivo elemento sonoro. Assim, a primeira definição aplica-se a esta dissertação, apresentando uma definição directa e eficaz do que se pretende como resultado.

2.2.1 Características

A investigação nesta área, segundo Kramer et al. (1998), é composta por três componentes:

1. Pesquisa sobre percepção e cognição na área da Psicologia, com foco na percepção do som, capacidade de análise sonora e no papel da memória e atenção na análise e extracção de informação;

2. Desenvolvimento de ferramentas de sonificação para experimentação e aplicação, que permitam criar a estrutura sonora que traduza os dados de forma conveniente e eficaz, integrando um sistema de avaliação;

3. Design da sonificação e respectiva aplicação, através da formulação de um método construído por abordagens centradas no utilizador, estudos de timbre, estética, metáfora e efeito do som.

Ao analisar estas componentes, os autores identificam os temas principais de discussão: a tendência para problemas de percepção de alto nível (processo de criação de sentido de dados complexos a um nível conceptual e abstracto), que exigem ferramentas complexas; a importância e potencial de sistemas modais, e a constante necessidade de interacção interdisciplinar. Esta característica torna-se parte da natureza da sonificação, que combina conhecimentos e colaborações com entendidos das mais variadas áreas, de maneira a produzir sonificações consistentes e ricas em informação. Contudo, Walker & Nees (2011) referem que apesar do campo de *displays auditivos* ter beneficiado tremendamente desta abordagem multidisciplinar, esta diversidade tem dificultado a definição e a formação unificada da área de investigação do som. A definição proposta por Hermann (2008) foi assim uma tentativa de inspirar essa unificação e a discussão da terminologia da sonificação, estabelecendo um meio consistente de investigação. Walker & Nees (2011) referem esta clarificação, e definem uma descrição geral dos *displays auditivos*, como ligação entre a fonte e o receptor de dados (Figura 5).

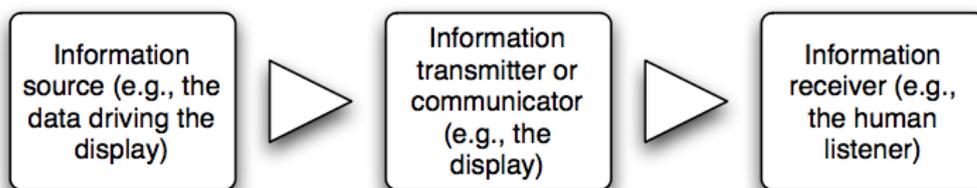


Figura 5: Esquema de um sistema de comunicação (Hermann, Hunt & Neuhoff, 2011)

Desde o aparecimento dos computadores que os sistemas de *displays auditivos* se tornaram uma presença inegável no nosso quotidiano, principalmente devido à facilidade e ao baixo custo com que os aparelhos electrónicos passaram a produzir som (Hermann, Hunt & Neuhoff, 2011). As fontes sonoras passaram a ser inúmeras, dentro das quatro categorias explicadas no início do capítulo, e que estabeleceram o som como presença natural no quotidiano e a sua utilização uma prática comum. Kramer et al. (1998) também referem este factor, especificando que os computadores pessoais hoje em dia já contêm o *hardware* necessário para trabalhar som, assim como *software* e ferramentas que possibilitam a manipulação digital. A combinação e a acessibilidade destas ferramentas permitem um forte ponto de partida para o desenvolvimento de métodos de sonificação, explorando novos métodos de transmissão de informação que fornecem ao utilizador dados sonoros de formas cativantes, eficazes e inovadoras.

2.2.2 Marcos históricos

Um dos mais importantes exemplos de sonificação é o contador Geiger, inventado por Hans Geiger no início do século XX, ainda hoje utilizado (Kramer et al., 1998). É um contador que emite um sinal sonoro quando detecta níveis de radiação, alertando ao perigo, invisível ao olho humano, e especificamente o nível de perigo e exposição (Figura 6).

Um aparelho semelhante a este contador é o oxímetro de pulso, que se tornou uma ferramenta de uso diária em hospitais nos Estados Unidos em meados dos anos 80 (Kramer et al., 1998). O oxímetro de pulso produz um som que varia de frequência consoante o nível de oxigénio no sangue do paciente, permitindo aos médicos identificar casos urgentes de forma mais rápida quando comparado a *displays* puramente visuais, ou combinados. Burt (2005), além de referir o contador Geiger, fala no sonar, instrumento também criado no início do século para fins militares, e hoje utilizado na navegação, pesca e estudo dos oceanos.



Figura 6: Fotografia representativa do uso do contador de Geiger

Fonte: <http://www.treehugger.com/corporate-responsibility/first-they-came-for-the-geiger-counters.html>

Contudo, Dombois e Eckel (2011) referem ainda três invenções anteriores, que definiram as bases de registo e *display* sonoro: o telefone, inventado em 1876 por Bell, o fonógrafo, que surgiu em 1877 pelas mãos de Edison e a radiotelegrafia, desenvolvida por Marconi em 1895. A transformação das ondas sonoras em sinais eléctricos foi uma descoberta pioneira, que iria começar uma nova era sonora, com ferramentas de registo e exploração de som nunca antes possíveis.



Figura 7: Exemplo do primeiro estetoscópio inventado por Laennec

Fonte: <https://thechirurgeonsapprentice.com/2015/04/21/laennecs-baton-a-short-history-of-the-stethoscope/>

Ben-Tal & Berger (2004) consideram ainda o estetoscópio (Figura 7), inventado por René Laennec em 1816, como um dos primeiros instrumentos a facilitar a sonificação de dados médicos, revolucionando o diagnóstico médico através do uso de informação auditiva.

Desde então, a partir do último quarto do século XX, a sonificação tem sido amplamente explorada para análise e mapeamento de dados nas mais variadas áreas. Kramer et al. (1998) descreveram dois exemplos de grande sucesso, nas áreas da Engenharia Aeroespacial e na Física. O primeiro foi descoberto durante a missão espacial da sonda Voyager 2, que revelou problemas ao atravessar os anéis de Saturno. Os controladores não conseguiram detectar as falhas através de *displays* visuais, com imagens cheias de ruído e sem informação. Foi somente quando os dados foram tocados por um sintetizador é que foi ouvido um som particular (tipo disparo) num período crítico, que permitiu o diagnóstico do problema e a respectiva resolução. O segundo denonimou-se “*Quantum Whistle*”, descoberto por Davis e Packard ao detectar oscilações previstas pela teoria quântica através da audição de um assobio fraco nas experiências do osciloscópio, revelando a primeira prova de ocorrências dessas oscilações. Estes casos ilustram a capacidade e potencial dos sistemas auditivos para extrair estruturas e aspectos temporais de sinais complexos, muitas vezes fundamentais na exploração e descoberta científica (Kramer et. al, 1998).

Kramer et al. (1998) referem ainda a exploração e adaptação de aplicações para deficientes visuais. Existem inúmeras experiências nesta área, com os autores a listarem a renderização de mapas e diagramas embebidos no texto por Kennel (1996), Gardner et al. (1996) e Stevens e Edwards (1997), assim como conteúdo em ambiente *web* e posição geográfica. Meijer (1992) desenvolveu meios de apresentar imagens em som, e, num domínio mais científico, Burt (2005) e também Kramer et al. (1998) referem o trabalho de Luanne e Morrison (1990), que permite a estudantes e investigadores na área da Química examinarem dados espectroscópicos de infravermelhos através de representações sonoras. O trabalho de Heuten, Wichmann e Boll (2006) é também um exemplo, ao propor uma interface sonora que explora mapas de cidades, permitindo a construção mental de modelos de cidade que proporcionam uma maior independência na deslocação diária pelas ruas.

As propriedades naturais e integrativas do som e *displays* auditivos têm sido, com estas investigações, comprovadas como capazes e eficazes na apresentação de dados complexos, incluindo a monitorização de grandes quantidades de dados em tempo-real (Kramer et al., 1998). A investigação no campo da sonificação, em combinação com o constante avançar tecnológico, torna-se uma ferramenta útil na compreensão do mundo repleto de dados e informação, do presente e do futuro.

2.2.3 Técnicas

Existe uma série de abordagens possíveis e estudadas na criação da estrutura para uma sonificação (Figura 8):

1. Audificação
2. Ícones auditivos
3. *Earcons*
4. Mapeamento de parâmetros
5. Baseada em modelos

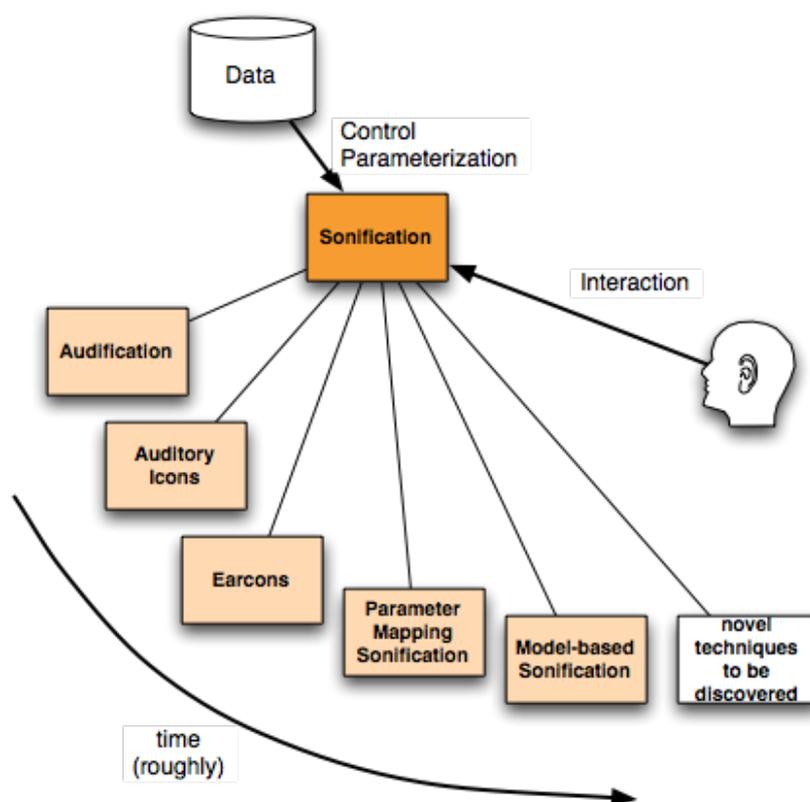


Figura 8: Esquema das possíveis técnicas de sonificação, retirado do *site* de Hermann (2010)

Além destas cinco principais, é sempre preciso ter em conta o papel que se pretende do utilizador, e o nível de interactividade que a aplicação permite. Em algumas situações, o ouvinte poderá ter um papel passivo, com a única acção de ouvir e interpretar o estímulo sonoro, sem possibilidade de manipular e controlar o *display*, denominado “modo concerto” (Walker & Kramer, 1996, citado por Walker & Nees), ou “*tour based*” (Franklin & Roberts, 2004, citado por Walker & Nees). Noutras, poderá assumir uma dimensão activa, podendo controlar o *display*,

alterando parâmetros da apresentação (parar, avançar, recuar ou controlar a velocidade) e definindo a própria experiência auditiva.

A **audificação** caracteriza-se pela tradução directa das ondas periódicas para elementos sonoros. Dombois e Eckel (2011) pormenorizam esta definição, referindo-a como uma “técnica que fornece sentido aos dados através da interpretação de um qualquer sinal unidimensional ou bidimensional, traduzindo-o para um valor de amplitude com o propósito de audição”. Trata-se da técnica mais simples de sonificação, sendo por isso, em geral, a primeira abordagem a experimentar num projecto, e a ser eventualmente descartada durante o desenvolvimento. Musicalmente, ao pensar na forma como arquivar música, Dombois e Eckel (2011) comparam o método de audificação ao de gravação, em que é registada a onda sonora equivalente àquele conjunto de dados acústicos. Visualmente, comparam este método a um gráfico cartesiano. É um método cujo objectivo e utilidade se centram na possibilidade de ouvir os resultados de medidas ou simulações científicas, podendo facilitar a interpretação de detalhes que, visualmente, se tornavam demasiado complexos. Alguns exemplos de uso desta abordagem que Dombois e Eckel descrevem incluem audificações de eletroencefalogramas, de dados sismológicos (Loos & Scherbaum, 1999), de dados da bolsa (Fryisinger, 1990) e de dados astronómicos (NASA).

Os **ícones auditivos** são elementos sonoros breves representativos de uma acção ou processo de uma interface. Esta abordagem imita os sons não falados que povoam o quotidiano e as experiências diárias no mundo real, que se tornam dependentes e naturalmente associados a essas experiências. Surgiram no início dos anos 80, com as primeiras explorações da capacidade sonora dos computadores pessoais. O termo, definido por Bill Gaver, traduz o equivalente auditivo do grande paradigma visual que surgiu na época e que definiu a interface do computador: a metáfora de *desktop* (Brazil e Fernström, 2011). O som de papel a ser amarrado ao apagar um documento ou o alerta de erro numa aplicação são exemplos desta técnica, que veio melhorar a interface e a experiência do utilizador. Esta abordagem procura o uso deste tipo de sons, aproveitando a familiaridade do utilizador pela sua existência constante no dia-a-dia, associando representações icónicas sonoras a uma dada acção. Um exemplo da utilização desta abordagem é o trabalho desenvolvido por Fitch e Kramer (citado por Brazil e Fernström, 2011), que implementaram um simulador com oito variáveis representativas dos sinais vitais de um paciente. Este sistema, utilizado para treino de anestesistas, mostrou que as acções tomadas eram mais rápidas e com menos erros com um *display* auditivo.

Os **earcons** também se caracterizam como elementos sonoros breves; contudo, ao contrário dos ícones auditivos, não exigem uma relação entre o som

e o seu significado. McGookin e Brewster (2011) citam uma definição de Brewster desta técnica, que os caracteriza como “tons abstractos e sintéticos usados em combinações estruturadas para criar mensagens sonoras”. Esta abordagem é também muito utilizada em interfaces humano-computador, produzindo pequenas mensagens musicais que, através da manipulação da frequência, timbre e ritmo, podem representar qualquer objecto ou acção. Esta natureza abstracta, e o facto de ocorrerem de forma arbitrária (desconectados de um acontecimento prévio) requer um período de aprendizagem maior, ou até algum treino formal. Um dos exemplos de aplicação dos *earcons* é a bordo de um avião, quando é necessária comunicação entre os membros da tripulação: é tocada uma sequência de notas, aprendida previamente pela tripulação, que os alerta sem perturbar os passageiros. Esta técnica foi proposta inicialmente, segundo McGookin e Brewster (2011), por Blattner, Sumikawa e Breenberg, que propunham esta exacta “sucessão de frequências para produzir um padrão distinto o suficiente para ser reconhecido como uma entidade.”

Os ícones auditivos e os *earcons* são técnicas complementares, úteis nas suas diferenças na criação de *displays* auditivos (McGookin & Brewster, 2011).

A **sonificação mapeada em parâmetros** consiste numa parametrização multidimensional, associando variáveis dos dados a parâmetros auditivos (Figura 9). É o método mais utilizado na área da sonificação, em que os atributos acústicos do som são um mapeamento dos atributos dos dados (Hermann & Hunt, 2004). Como o próprio som é multidimensional, esta abordagem é particularmente eficaz em dados com múltiplas variáveis (Grond & Berger, 2011). Esta multiplicidade de hipóteses é, simultaneamente, a vantagem e a desvantagem deste método. A interpretação e a lógica das decisões de mapeamento resultam em múltiplas soluções na criação de uma sonificação para um determinado propósito. Contudo, esta liberdade resulta num desafio acrescido para manter a consistência e a compreensão dos dados, impedindo o resultado de se tornar demasiado complexo e confuso.

O diagrama da Figura 9 descreve o mapeamento necessário desta abordagem, que envolve, sumariamente, a tradução dos dados (lado esquerdo) em parâmetros sonoros (lado direito). A cor cinza traduz os dados e os controlos numéricos, o azul os elementos auditivos e o verde a percepção humana, que impõe uma componente subjectiva que contrasta com a objectividade da fase de análise e tradução (Grond & Berger, 2011). É este jogo entre ambos os domínios, um mais rigoroso e o outro mais experimental, que representa a chave para uma sonificação eficaz e criativa.

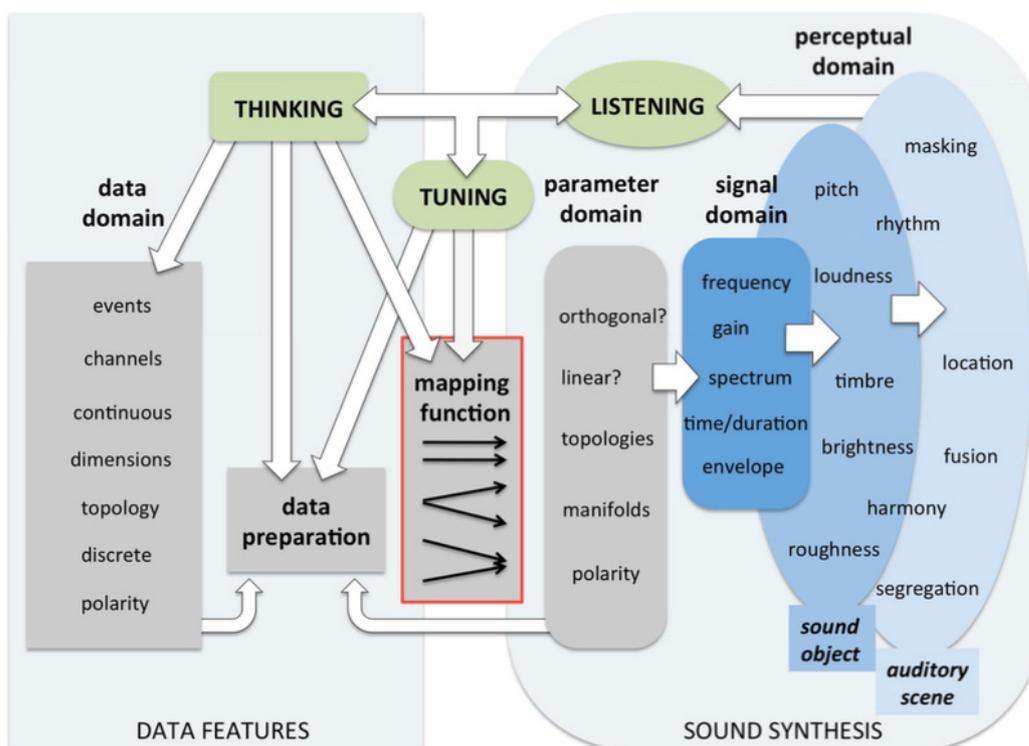


Figura 9: Mapa do processo de uma sonificação baseada em parâmetros (Grond & Berger, 2011)

A **sonificação baseada em modelos** é, das abordagens estabelecidas, a mais recente, que consiste na criação de um modelo acústico que gera respostas com base nas acções do utilizador (Figura 10). Os dados tornam-se, assim, citando Hermann e Hunt (2004), um “instrumento musical virtual que pode ser tocado pelo utilizador para gerar o respectivo som”. Esta técnica exige a criação de um modelo, baseado numa série de instruções que servem de base para o comportamento do modelo. Este é dinâmico, interpretando as acções do utilizador que alteram a dinâmica inicialmente definida. A interacção com o utilizador torna-se um elemento crucial para o funcionamento desta abordagem, ao contrário das descritas anteriormente, conduzindo um papel activo e de activação constante do modelo.

O objectivo desta abordagem é, assim, transmitir, da forma mais próxima possível, a interacção com o mundo-real, com respostas imediatas à interacção (que devem sempre produzir um som), rica em informação através de várias camadas, e com pequenas variações dependentes da interacção, dos dados e do estado dinâmico actual. O esquema seguinte (Figura 10) ilustra o processo inerente a esta abordagem, que começa com os dados a serem configurados através de um sistema dinâmico, que define a dinâmica de trabalho e o modelo de sonificação.

Estas variáveis são depois mapeadas a um espaço sonoro, que vai ser a fonte sonora do utilizador e das respectivas características. Assim, na ausência de interacção, o objecto virtual encontra-se num estado de equilíbrio. Qualquer interacção vai excitar o modelo, retirando-o desse estado e causando uma evolução temporal que, lentamente, retorna ao equilíbrio definido. Durante este ciclo, o sistema produz uma reacção acústica, que pode induzir novas interacções e novas iterações do ciclo, criando assim a sonificação dinâmica e em constante crescimento (Hermann, 2011).

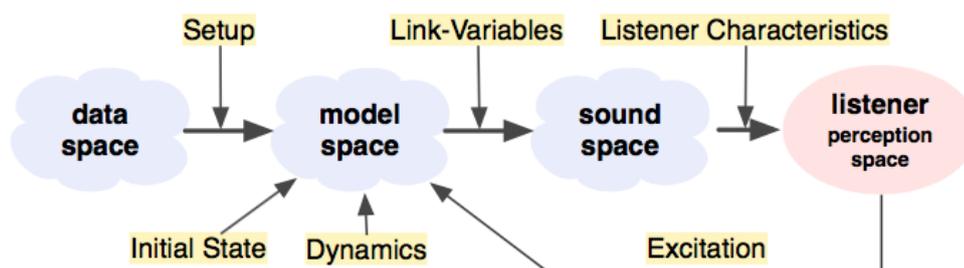


Figura 10: Esquema representativo do processo de uma sonificação baseada em modelos (Hermann, 2011)

As vantagens deste modelo incluem a definição e uso de dados de qualquer dimensão e tamanho, permitindo uma reutilização do modelo com diferentes dados, utilizando o paradigma “*design once - use many times*” (Hermann, 2011). Além disso, é um modelo ergonómico, ligado directamente às acções do utilizador e às suas expectativas. Contudo, é a abordagem mais complexa de compreender e implementar, podendo ser extremamente exigente em termos de computação.

2.2.4 Tecnologias

A história da música ligada à computação já é escrita desde meados do século XX, quando em 1951 o primeiro computador australiano, CSIRAC, se tornou o primeiro computador a tocar uma música, nomeadamente a marcha *Colonel Bogey*. Esta performance foi uma das primeiras tentativas em direcção a uma nova era de música electrónica (Computer History Museum, 2011).

Seis anos depois, em 1957, Max Mathews (Figura 11) foi pioneiro a capturar e a sintetizar som de um instrumento para uma composição computacional, ao ligar o seu violino ao computador da IBM 704 (Computer History

Musem, 2011). Além disso, desenvolveu um dos primeiros programas de escrita musical nos laboratórios Bell, chamado MUSIC I, cujas funcionalidades são hoje a base da maioria do *software* e *hardware* de síntese sonora, revelando-se assim uma das inúmeras contribuições de Mathews no campo da música computacional, síntese e acústica (Computer History Musem, 2011). A equipa de Mathews lançou ainda, em 1960, um álbum denominado “*Music From Mathematics*”, que consistia nas experiências realizadas com as linguagens de programação MUSIC-N, derivadas do MUSIC I (Clark, 2003). O álbum incluía a famosa composição *Daisy Bell* (“*Bicycle Made For Two*”), a primeira composição computacional a incluir síntese de voz, programados por John Kelly e Carol Lochbaum, e o acompanhamento por Mathews (Computer History Musem, 2011). Contudo, a primeira peça completa composta por um computador deveu-se ao trabalho de Lejaren Hiller e Leonard Isaacson em 1958, no Estúdio de Música Experimental da Universidade de Illinois. Hiller e Isaacson desenvolveram os algoritmos utilizados pelo computador Illiac I para compôr a “*Illiac Suite*”, constituída por quatro experiências para um quarteto de cordas.

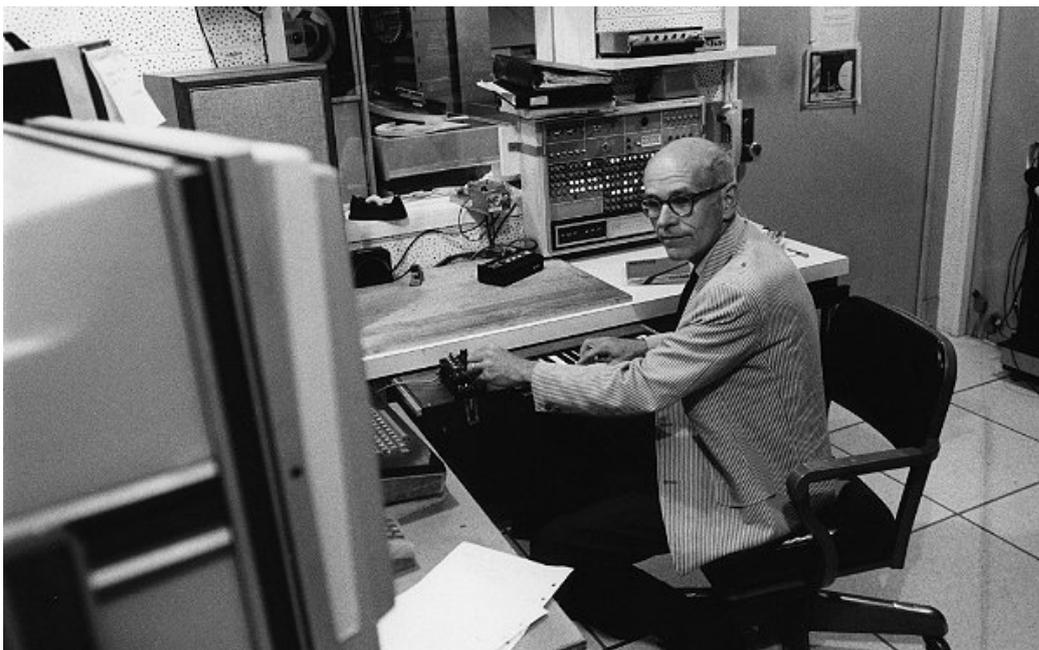


Figura 11: Max Mathews, 1984

Fonte: <http://www.computerhistory.org/revolution/computer-graphics-music-and-art/15/222/632>

A música electrónica começou assim a dar os seus primeiros passos com a era da computação. Nos anos 60, Robert Moog lançou o primeiro sintetizador modular controlado por voltagens (Figura 12), utilizado no álbum “*Switched-On*

Bach“, de Wendy Carlos, para interpretar uma série de peças de Bach (Computer History Museum, 2011). Este álbum foi um dos grandes sucessos comerciais associados a este sintetizador, acolhido pela comunidade musical para difusão da música electrónica.



Figura 12: Primeiro sintetizador Moog, 1964

Fonte: <https://www.moogmusic.com/legacy/moog-product-timeline>

O avanço das técnicas e dos sintetizadores que surgiram desde então tornaram a sonoridade electrónica familiar ao público e, pelos anos 80, já inúmeros grupos baseavam as suas composições em instrumentos electrónicos (Computer History Museum, 2011). Nos últimos anos, o crescimento significativo da tecnologia e a capacidade da computação nos últimos anos provocou, por um lado, a geração e a partilha de quantidades infindáveis de informação mas, por outro, métodos tecnológicos e algorítmicos que abarcam a capacidade de analisar e estudar essa informação. As ferramentas de trabalho na área de sonificação enquadram-se nesta descrição, que incluem *hardware* (gravação de áudio, processamento de sinal e equipamento de reprodução) e *software* (ferramentas de síntese, análise e edição de som) (Kramer et al., 1998).

Hoje em dia, estas ferramentas estão acessíveis ao utilizador comum, com os computadores pessoais a incluir o *hardware* necessário, que foi evoluindo com o avanço tecnológico e permite tarefas sonoras com alguma qualidade. A nível de *software*, existem inúmeras aplicações de edição e manipulação de ondas sonoras, que permitem as funcionalidades básicas de cortar, copiar, colar, gravar, tocar e uma série de efeitos para produção sonora (Kramer et al., 1998). Também existem

ferramentas que trabalham dados MIDI, chamados sequenciadores, com uma série de pistas que permitem a criação de melodias, com notas pré-definidas, e a sua reprodução autónoma. Em meados dos anos 80, surgiu o *Max/MSP*, um linguagem de programação visual para música e multimédia, que permite a construção de interfaces interactivas musicais.

Kramer et al. (1998) referem três grandes tendências que caracterizam a investigação de ferramentas de sonificação:

1. O desenvolvimento de ferramentas *standardizadas*, que permitem o acesso a funções de processamento simples a não-profissionais da área;

2. O estudo da síntese de som, caracterizado por dois métodos de controlo sonoro: um baseado na criação e transformação do efeito do som, e outro em modelar propriedades físicas de um objecto sonoro. Estas duas abordagens sugerem possibilidades infinitas na geração de som, refinando e aprimorando a qualidade e o realismo do som digital;

3. O estudo de *displays* auditivos espaciais, definido pela percepção da localização da fonte sonora.

Apesar do progresso significativo na criação e distribuição de ferramentas de produção sonora, ainda há um longo caminho a percorrer na definição de um conjunto de ferramentas competente e acessível, hoje ainda demasiado complexo e específico para um público especializado.

Kramer et al. (1998) identificam três grandes obstáculos no desenvolvimento de ferramentas na área da sonificação:

1. Portabilidade entre plataformas, permitindo a mudança consistente e acessível de sistemas de sonificação entre programas;

2. Flexibilidade das técnicas de síntese, desenvolvendo controlos simples e métodos *default* de sonificação para sonificações rápidas e simples;

3. Integrabilidade com várias ferramentas, desde programas de visualização, equipamento de laboratório, folhas de cálculo, etc., evidenciando a necessidade de um software *standard* que facilite estas integrações.

2.2.5 O papel da Visualização de Informação

A Visualização de Informação mantém-se como o principal paradigma e área de investigação, que procura formas de tornar informação abstracta em dados perceptíveis e compreensíveis (North, 2005). É usual referir a Sonificação como a área auditiva paralela à Visualização, por partilharem este mesmo objectivo. A Visualização de Informação é, assim, a interface visual para a informação (North,

2005), e a Sonificação a sonora.

A Visualização de Informação é, comparativamente, um campo e área de investigação cientificamente mais estabelecido, aplicado e explorado há séculos nesta demanda de apresentar informação (Kramer et al., 1998). Os autores exemplificam, referindo mapas e cartografias (Tufte, 1990), gráficos e tabelas (Tufte, 1992) como formas bem estabelecidas de representar informação em tempos idos. Estes exemplos, estudados por Edward Tufte, são parte de uma série de livros sobre Visualização de Informação considerados influentes na definição científica da área, repletos de exemplos de formas de representar graficamente informação e definindo princípios de excelência dessa representação, enfatizando consistência, clareza e precisão (Stone, 2009). O campo da Visualização de Informação sofreu um crescimento significativo com o aparecimento dos computadores pessoais, cuja evolução em termos de capacidade gráfica, processamento, armazenamento e comunicação permitiu grandes descobertas na representação de dados (Kramer et al., 1998). A Sonificação, apesar de poder aprender com este caminho já percorrido pela Visualização, enfrenta um desafio acrescido no seu estabelecimento como forma efectiva de representação, pelo poder que os sistemas visuais ganharam ao longo da história. A Sonificação tem, assim, de provar o seu lugar como área válida de investigação, construída numa união multidisciplinar.

A Visualização de Informação torna-se uma área de interesse para este caminho futuro da Sonificação, aliando técnicas de ambas as áreas e desenvolvendo *displays* multisensoriais, que estabeleçam o som como uma parte fundamental de um processo dinâmico na transmissão de informação.

2.2.6 Música e Emoções

A Sonificação, por ter como meio principal de comunicação o som, é ligada frequentemente à ideia de comunicação musical, em que a informação é transmitida através de uma construção sonora melódica, harmónica e rítmica, criando composições musicais dos dados.

A ligação entre as duas áreas é notável pela quantidade de trabalhos que existem, quer de estudos em áreas científicas que traduzem dados em som, como de músicos que constroem composições com base nesses dados. Burt (2005) enumera algumas destas composições, que remontam a criações ainda de 1930. O trabalho do compositor brasileiro Heitor Villa-Lobos é um exemplo, especificamente a “*New York Skyline*” (1939) (Figura 13) e a “*Sinfonia nº 6: Sobre as Linhas das Montanhas do Brasil*”, que utilizam os contornos destes objectos (a

linha definida pelos edifícios nova-iorquinos e por montanhas brasileiras) como estrutura das composições. Outros dois exemplos são duas peças de John Cage, “Atlas Eclipticalis” (1961-1962) e os “Etudes Boreales” (1978), que foram compostas sobrepondo pautas sobre cartografias celestes.

VILLA-LOBOS: NEW YORK SKY LINE MELODY - GRÁFICO DERIVADO DA VERSÃO DE 1957. (C. KATER, 1982)



Figura 13: Gráfico da escala representativa da melodia de Villas-Lobos

Fonte: <http://villa-lobos.blogspot.pt/2016/01/new-york-skyline.html>

Uma sonificação musical envolve, assim, o mapeamento dos dados a uma estrutura musical, escolhendo valores de frequências de uma dada escala que tocam sobre um determinado tempo ou ritmo (McGee, 2009). O resultado de uma sonificação musical pode conseguir resultados com alto nível de precisão (McGee, 2009): o uso de sons musicais, em oposição a tons puros das ondas sinusoidais, é recomendado pela facilidade com que sons musicais são percebidos (Brown et al., 2003, citado por Walker & Nees).

Contudo, surge a questão: conseguirá a música transmitir significado além dela própria? Barrass & Vickers (2011) referem este antigo debate, em vigor já desde o século XVIII e continua nos dias de hoje, onde muitos defendem que a música é a arte mais abstracta, não tendo a capacidade de representar nada além das suas próprias características formais (melodia, harmonia, dissonância, tensão e resolução). Langer (1957), citado por Schubert et al. (2011), alega que a arbitrariedade da expressão musical é uma das vantagens que a música contém face à linguagem: “O que é criticado como uma fraqueza é na realidade a forma da expressão musical, articulando formas que a linguagem não consegue”. Ben-Tal e Berger (2004) descrevem situações intrínsecas ao ser humano que também apoiam a capacidade musical, nomeadamente a fala, base de comunicação do ser humano, e a capacidade de diagnosticar e analisar situações através do som, como por

exemplo a percepção de um problema num automóvel através do som do motor. São tarefas que surgem no dia-a-dia, e que demonstram a intrínseca capacidade humana de categorizar sons relevantes, integrando informação temporal para produzir uma interpretação.

O cinema é também um exemplo de um meio que utiliza extensivamente a música na transmissão das emoções incorporadas em cada cena. É um exemplo de um contexto multisensorial, típico do quotidiano, onde a informação visual e auditiva coexistem naturalmente e, sobre a perspectiva da psicologia experimental, onde a aplicação apropriada da música reflecte regras psicológicas (Cohen, 2005). Dos cinco domínios que caracterizam o cinema, segundo Cohen (2005), nomeadamente a música, a fala, os efeitos sonoros, a imagem e o texto escrito, os três primeiros são auditivos, que constituem uma percentagem maior da comunicação e demonstram a importância do som neste meio. O papel da música no cinema é, assim, baseado na transferência directa de significado ao contexto da narrativa (Cohen, 2005), podendo ser considerada um meio culturalmente equilibrado para o significado das emoções transmitidas (Schubert, 2011).



Figura 14: Screenshot da sequência inicial do filme *Persona*, de Ingmar Bergman (1966)
Fonte: <http://filmint.nu/wp-content/uploads/2014/01/BergmanFig1.jpg>

Um exemplo descrito por Chion (1994) da importância da música é a sequência inicial do filme *Persona*, de Ingmar Bergman (Figura 14). Se o som for eliminado por completo, a sequência é transformada radicalmente, perdendo por completo

o ritmo e unidade entre as imagens. O valor expressivo e informativo com que o som enriquece a imagem é denominado “valor adicional”, quer pela realidade que evidencia, quer pelas discrepâncias que origina (Chion, 1994). O autor acrescenta ainda que o papel que o som representa na experiência que origina passa muito despercebido, pela exacta naturalidade com que se interliga com a imagem, ao ponto da memória dessa experiência ser principalmente associada ao que é visto.

A relação entre a imagem e o áudio apresenta tendências e indica direcções na narrativa através de padrões de repetição e mudança que criam no espectador sensações de esperança, expectativa, plenitude a ser quebrada ou um vazio a ser preenchido (Chion, 1994). Esta capacidade é alcançada principalmente através da música, repleta de cadências, ritmos e dinâmicas de tensão e relaxe que não só transmitem, mas também induzem estados emocionais ao espectador. Outro exemplo de Chion (1994) é uma cena do filme *Filhos de um Deus Menor* (realizado por Randa Haines, em 1986), quando a personagem de Marlee Matlin, vestida de branco, aparece para se juntar ao companheiro William Hurt. O volume da música diminui gradualmente até o silêncio descrever o reencontro das duas personagens. O espectador já espera conscientemente o reencontro, em que a convergência deste com o desaparecer auditivo amplifica a expectativa, e eleva o momento de união. Esta reacção é o resultado mais desafiante de atingir, não só pela estética musical ser tão variada, mas também pela complexidade inerente ao acto de ouvir música e à informação que cada ouvinte retira da mesma, particularmente com emoções associadas (Ben-Tal & Berger, 2004). A exposição musical e cultural vivida por cada ouvinte influencia o significado que retira da sonificação, e esta diferença de indivíduo para indivíduo adiciona complexidade (Schubert et al., 2011).

O trabalho de quem investiga as técnicas de sonificação é conseguir reduzir esta complexidade (Schubert et al., 2011), encontrando as medições universais de emoções, e os parâmetros musicais que as codifiquem. Esta tarefa resulta numa multiplicidade de soluções, que revelam o caminho ainda a explorar e a própria subjectividade do tema. Subjectividade que aumenta ao tratar elementos vastos e difíceis de quantificar como as emoções.

O tratamento de emoções tem sido alvo de inúmeros estudos ao longo das últimas décadas. A área da computação afectiva (Piccard, 1957), que explora o *display*, expressão e comunicação de emoção nas tecnologias tem sido um foco cada vez maior de investigação, que reflecte o potencial e o interesse do estudo das emoções. No estudo das emoções em música, o trabalho de Kate Hevner é um exemplo, tendo realizado nos anos 30 do século XX uma série de experiências de classificação de emoções. O seu trabalho resultou num círculo de adjectivos (Figura 15), organizados em grupos de palavras com significados emocionais semelhantes,

utilizado para os ouvintes caracterizarem uma determinada música (Schubert et al., 2011, Winters & Wanderley, 2014).

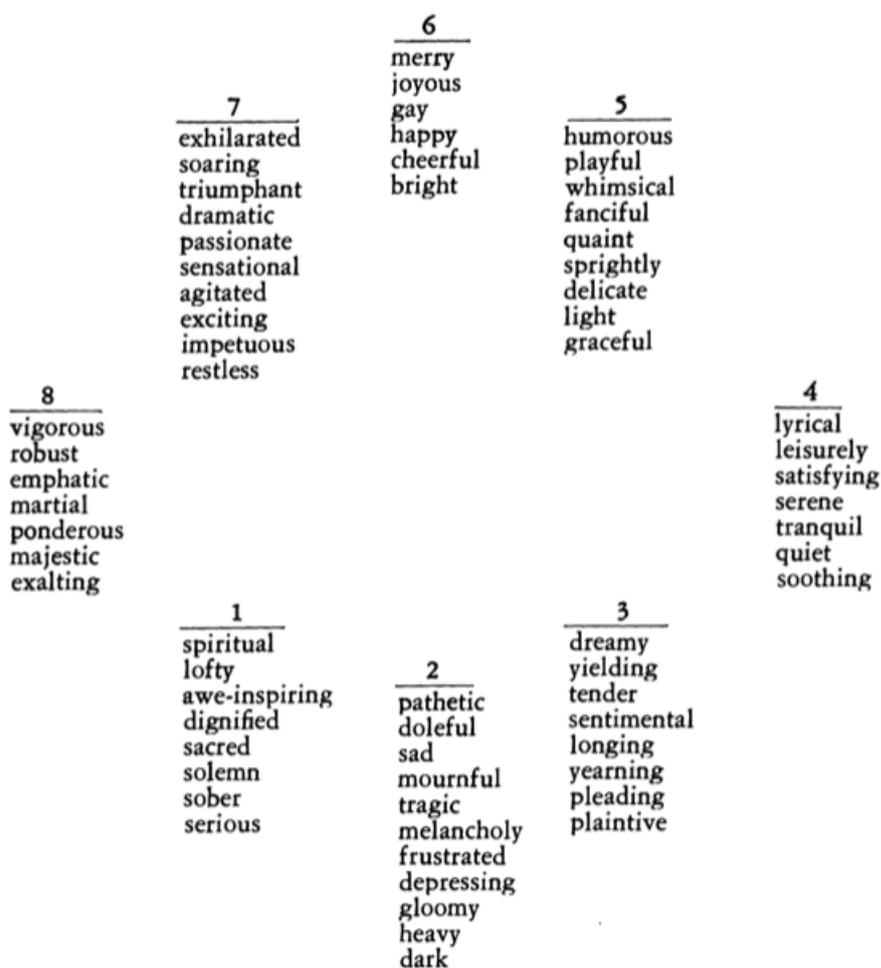


Figura 15: Lista de adjetivos definidos por Kate Hevner (1936)

O trabalho de Gabrielsson e Lindström (2010) foca-se na recolha e revisão de dezenas de estudos sobre estruturas musicais e as emoções associadas, referindo o trabalho de Hevner e sumariando os resultados numa tabela (Tabela 2), que estabelece os efeitos de cada parâmetro musical (escala, modo, intensidade, timbre, frequência, intervalos, melodia e harmonia). Existem, assim, muitas estruturas e elementos acústicos que provam a emoção sentida através da música, potencialmente independentes dos factores culturais ou individuais de quem ouve.

Estes estudos provam o potencial das sonificações de emoções, e o benefício mútuo que as áreas da sonificação e estudo de emoções em música podem obter: por um lado, o conhecimento adquirido da percepção de emoções pode contribuir

para a evolução nos métodos de sonificação e parametrização de dados; por outro, as abordagens objectivas e sistemáticas assim descobertas podem permitir avanços na selecção de estímulos (Winters & Wanderley, 2014).

Tabela 2: Excerto da tabela-síntese do trabalho de Gabrielsson e Lindström (2010)

Factor	Levels	Emotional expression
Amplitude envelope	Round	(C) Disgust, sadness, fear, boredom, potency (Sc77), tenderness, fear, sadness (Ju97)
	Sharp	(C) Pleasantness, happiness, surprise, activity (Sc77), anger (Ju97)
Articulation	Staccato	(A) VI: Gaiety; VII: agitation (Ri39) (B) Intensity/energy/activity (We72c), gaiety (Ni82) (C) Fear, anger (Ju97)
	Legato	(A) I: Solemn; II: melancholy, lamentation; III: longing (Ri39) (B) Softness (We72c) (C) Tenderness, sadness (Ju97)
Harmony	Simple/Consonant	(A) VI: Happy (He36, Wa42), joy (Ri39); V: graceful; IV: serene; III: dreamy (He36); I: dignified (He36, Wa42), serious (Wa42), solemn (Ri39); VIII: majestic (Wa42) (B) Gaiety, pleasantness (We72c), attraction (Ni82) (C) Tenderness (Li2006)
	Complex/Dissonant	(A) VII: Exciting (He36, Wa42), agitation (Ri39); VIII: vigorous (He36); II: sad (He36, Wa42) (B) Gloom, unpleasantness (We72c), tension (Ni82, Kr96) (C) Tension (Ni83, Kr96), fear (Kr97), anger (Li2006)

2.3 Trabalhos relacionados

Ao longo do levantamento teórico deste projecto, foram encontrados e analisados alguns trabalhos que se enquadram na área de estudo, nomeadamente na sonificação e na exploração de dados de redes sociais e emoções.

2.3.1 Sonificações

O trabalho *Living Symphonies*, desenvolvido por James Bulley e Daniel Jones em 2014, caracteriza-se como sendo uma instalação musical utilizando sons de quatro ecossistemas florestais em Inglaterra (Figura 16).



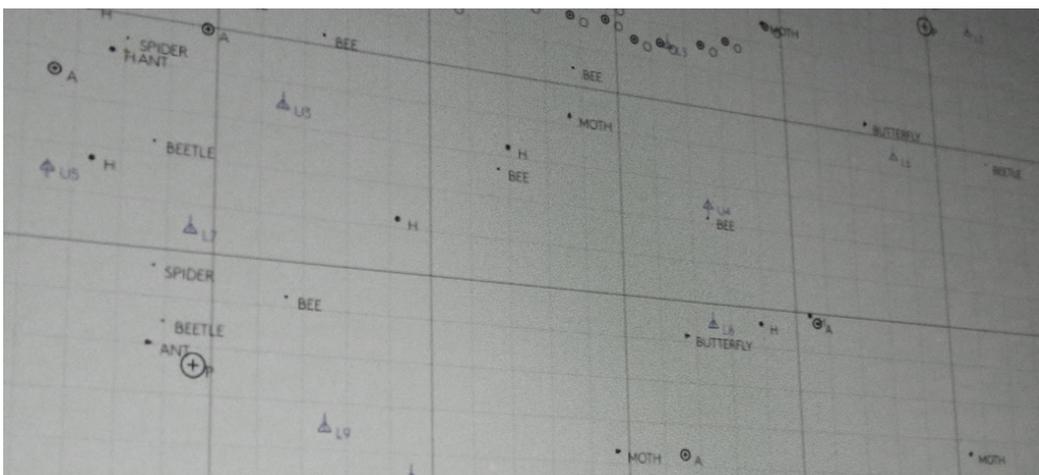
Figura 16: Screenshot do vídeo *Living Symphonies*
Fonte: <http://www.livingsymphonies.com/>

A sonificação utiliza a flora e fauna existentes em cada local, detalhadamente recolhidos em conjunto com ecologistas, de forma a construir um modelo que reflecta a movimentação, os comportamentos e o padrão diário de cada elemento da vida selvagem (Figuras 17 e 18). Foram adicionadas variáveis que traduzem condições climáticas (temperatura, humidade, vento), que afectam as espécies que aparecem com maior predominância.

Cada animal, planta e árvore é assim associado a um conjunto específico de instrumentos, que retratam os seus comportamentos e que colectivamente criam uma sinfonia em constante mudança que traduz a rede de interacções que forma

os ecossistemas (Bulley & Jones, 2014).

Esta sonificação percorreu temporariamente uma série de locais, implementando instalações físicas que geravam uma nova forma de vivenciar os espaços, utilizando o som para amplificar a vida existente na floresta (Bulley & Jones, 2014).



Figuras 17 e 18: Estudos e mapeamentos desenvolvidos para análise das florestas e associação de elementos sonoros

Fonte: <http://www.livingsymphonies.com/>

O trabalho ***Quotidian Record***, desenvolvido por Brian House, em 2012, é uma criação sonora, gravada num vinil (Figura 19), que traduz o dia-a-dia geográfico do autor durante um ano inteiro.

Cada local visitado é mapeado harmonicamente, com o objectivo de criar uma peça tonal, traduzindo informação não só geográfica do local (latitude e longitude), como da vivência do mesmo, incluindo o tempo passado em cada um. Os locais foram então ordenados por esta vivência, nomeadamente pela frequência

com que passava em cada um, que influencia a consonância musical: por exemplo, as terceiras maiores são associadas ao tempo passado em casa (House, 2013). Como batida de referência, a pulsação que se ouve equivale a duas horas, inserindo uma grelha temporal que ajuda à percepção da vivência diária, com cada rotação a equivaler a um dia. O vinil contém as horas e os nomes das cidades visitadas, indicando a informação associada a cada rotação (Figura 20).



Figura 19: Fotografia da capa do vinil

Fonte: http://brianhouse.net/works/quotidian_record/

Segundo o autor, a escolha do som sobre a imagem como ferramenta de comunicação prevaleceram pelo facto das imagens exigirem mais tempo de decodificação, ao contrário da música, sentida de forma intuitiva e natural no momento de leitura (House, 2013). Este foi um ponto fulcral na criação da composição, motivando a escolha de um vinil como objecto para proporcionar uma experiência táctil e física. É assim construída uma narrativa expressiva e até nostálgica, que contraria as estruturas digitais que populam o quotidiano de hoje (House, citado por Brooks, 2013). O álbum tem uma duração de cerca de 11 minutos, transformando dados aparentemente aborrecidos e sem interesse numa composição rítmica cativante, que representa a rotina e os ritmos diários associados.

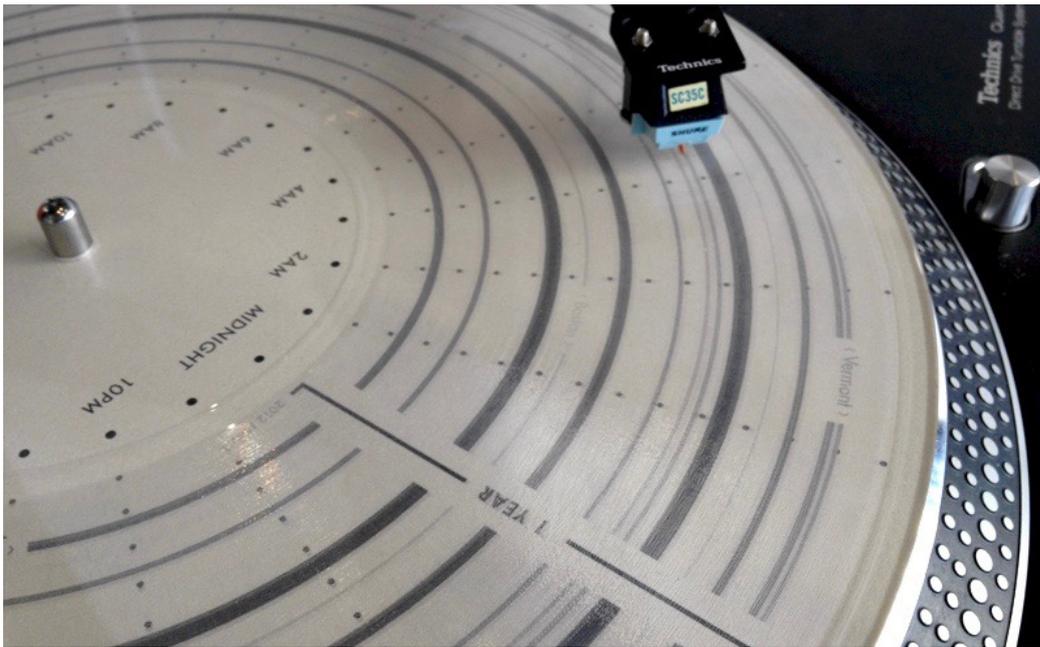


Figura 20: Fotografia do desenho do vinil, com a indicação das horas e cidades
Fonte: http://brianhouse.net/works/quotidian_record/

O trabalho ***Two Trains***, desenvolvido por Brian Foo, em 2015, pretende retratar uma viagem do metro de Nova Iorque por três subúrbios: Brooklyn, Manhattan e Bronx (Figura 21).

A composição é composta por 48 segmentos, equivalentes às 49 estações de metro percorridas neste caminho, cuja duração varia consoante a distância real entre as estações. A escala real foi comprimida para gerar uma peça de menor duração, em que a média de cada segmento / estação dura 5 segundos, o que resulta numa composição de menos de 5 minutos (Foo, 2015). Em cada um dos segmentos, são tocados entre 3 a 30 instrumentos, cuja dinâmica, tipo e quantidade correspondem à média do rendimento do agregado familiar da zona daquele segmento: por exemplo, numa zona mais rica como o *Financial District*, o número de instrumentos aumenta, assim como a sua força e intensidade.

A melodia consiste em diversas frequências da escala de Mi maior, escolhida por conter duas notas usadas na melodia de abertura e fecho de portas em transportes, reconhecida pelos nova-iorquinos (Foo, 2015). A composição é desenvolvida com base numa abordagem de deslocamento de frases, em que duas ou mais melodias idênticas são repetidas com tempos variáveis, criando um jogo de sintonia (Foo, 2015). Esta abordagem é utilizada como metáfora da própria vivência do metro, traduzindo as viagens em ciclo e o caos ordenado de movimentação das pessoas.

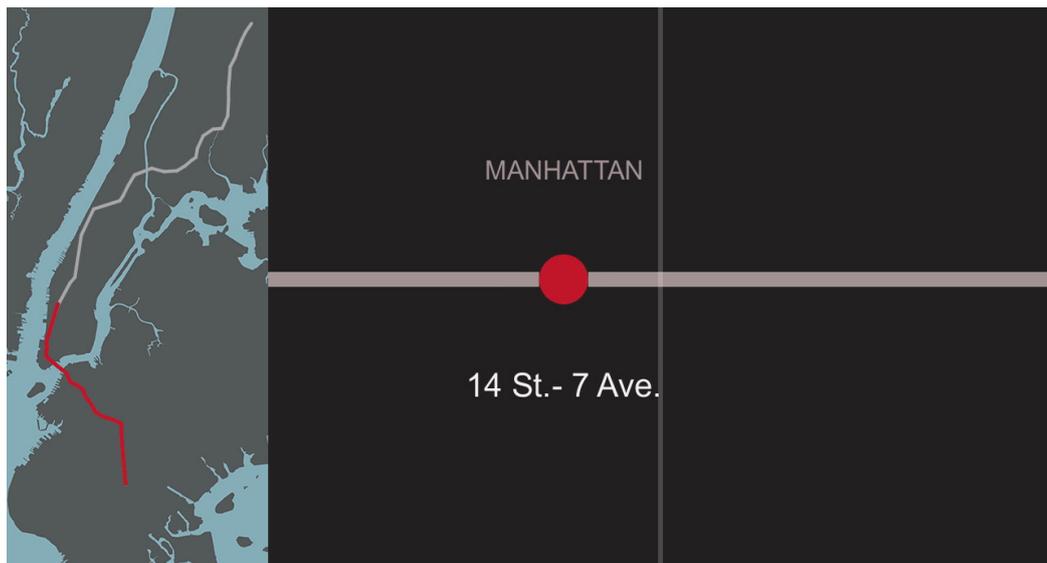


Figura 21: Screenshot do vídeo *Two Trains*
 Fonte: <https://datadrivendj.com/tracks/subway>

Outro trabalho do mesmo autor denomina-se *Rhapsody In Grey*, desenvolvido em 2016, e utiliza dados de um electroencefalograma (EEG) de uma paciente com epilepsia para gerar uma composição musical. O objectivo do autor é dar uma perspectiva empática e intuitiva sobre a actividade cerebral durante uma convulsão (Foo, 2016).

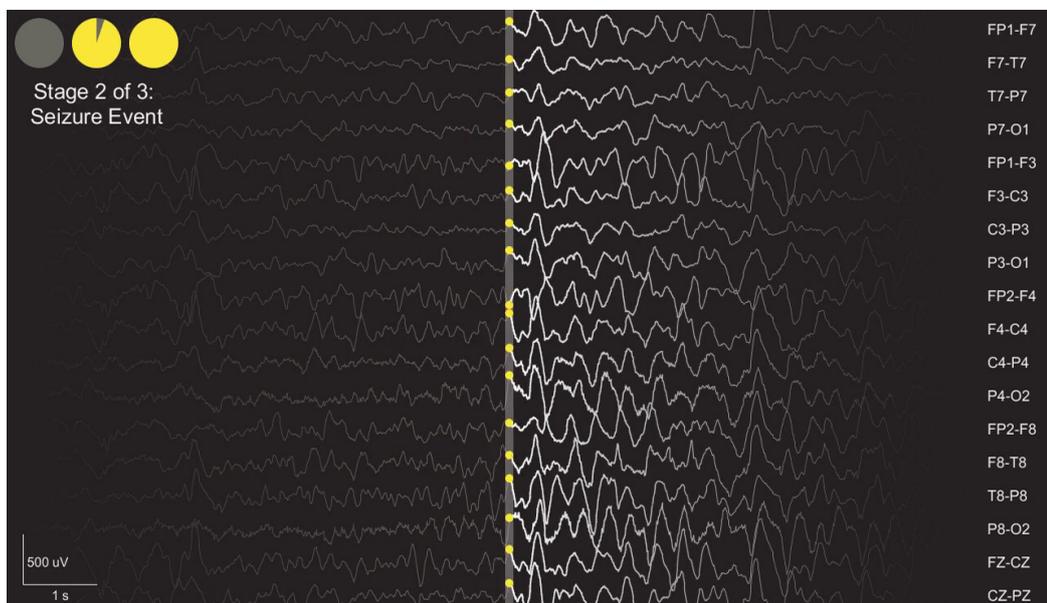


Figura 22: Screenshot do vídeo de *Rhapsody In Grey*
 Fonte: <https://datadrivendj.com/tracks/brain>

A sonificação é composta por três momentos: antes da convulsão, em que o cérebro apresenta uma actividade normal e as vozes mantêm-se síncronas e num ritmo claro; durante a convulsão, em que as vozes aumentam de intensidade e assincronismo, num tempo acelerado (Figura 22); e depois da convulsão, em que a actividade cerebral acalma, assim como as vozes. Nesta última fase, há sons que surgem ainda de forma errática, traduzindo o estado confuso e desorientado do doente (Foo, 2016). As ondas do EEG influenciam directamente parâmetros musicais, nomeadamente a amplitude, que traduz o número e a intensidade dos instrumentos, e a frequência, que traduz a frequência tímbrica dos instrumentos de cordas. O sincronismo das ondas do EEG (padrões) é traduzido pelos instrumentos de percussão, que aumentam quando existe maior sincronia.

Para ambos os projectos, é utilizado o *Python* para a análise de dados, nomeadamente para cálculos, associações de instrumentos e geração de sequências sonoras baseadas na análise. É de seguida utilizada a linguagem de programação *ChuckK*, desenvolvida para síntese sonora e geração musical em tempo-real, para criação do áudio final. O *Processing* surge como última tecnologia usada, para construir as visualizações.

O trabalho de Domenico Vicinanza é um exemplo da exploração e potencial da sonificação no tratamento de dados científicos. Doutorando em Física, Vicinanza foca-se nos seus conhecimentos de formação e prática musical para criar música a partir de dados científicos (Figura 23), nomeadamente do CERN e da NASA.



Figura 23: Screenshot do vídeo do “Data sonification -- from deep space research to improving lives through cancer research”

Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=ndLkP-bNL1se&t=1s>

Um trabalho de exemplo é o **Voyager 1 e 2 Spacecraft Duet**, uma sonificação de 2014 feita a partir dos dados recolhidos das sondas Voyager 1 & 2, da NASA, ao longo de 37 anos de exploração espacial.

Citando o autor, o objectivo era “criar uma composição musical que celebrasse as Voyager 1 e 2 juntas, utilizando as mesmas medidas das duas sondas (contabilização de protões do detector de raios cósmicos), no mesmo momento, mas separadas por biliões de quilómetros” (Vicinanza, 2014). Para compor esta peça, foram usadas 320.000 medidas de cada sonda, convertidas em duas longas melodias de diferentes frequências, o que resultou numa vasta onda sonora. Foram, assim, convertidos alguns elementos dos dados a 1 segundo de som, reduzindo substancialmente o tamanho da composição.

O trabalho **Solar Wind Radio** foi desenvolvido por Fabio Morreale em 2013, em colaboração com investigadores da Universidade de Michigan. Esta sonificação, acompanhada de uma visualização simples, pretende mostrar a variação de características de ventos solares (Figura 24), recolhidas pelo satélite ACE (*Advanced Composition Explorer*).

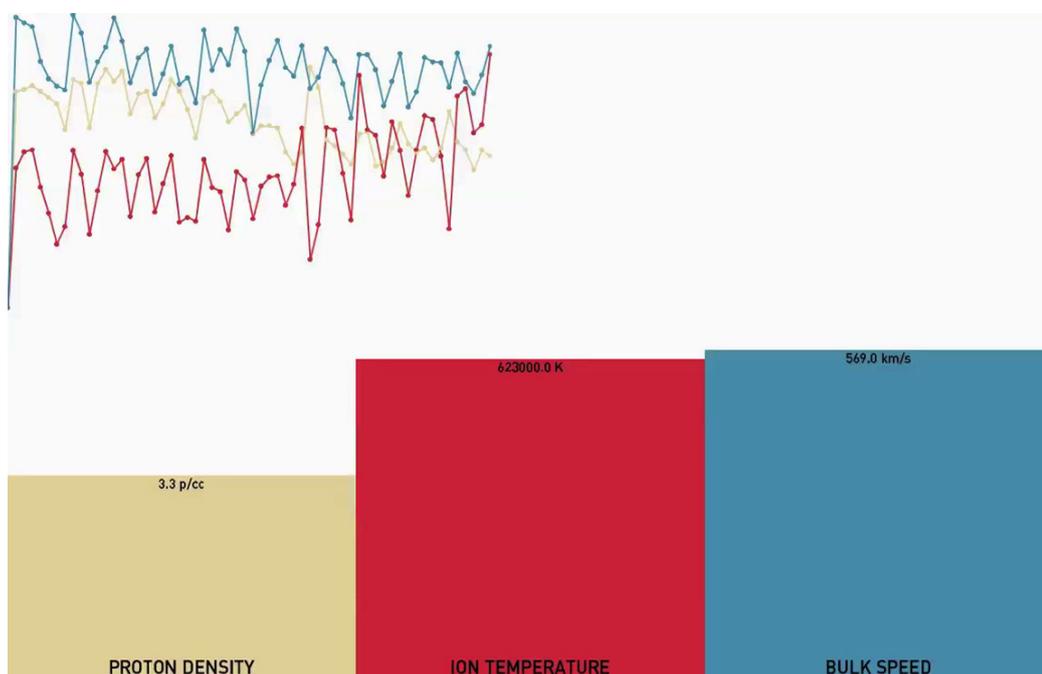


Figura 24: Screenshot do vídeo *Solar Wind Radio*

Fonte: <https://earthzine.org/2013/07/23/sonification-data-like-youve-never-heard-before/>

São utilizadas três características principais: a velocidade da massa, que afecta as batidas por minuto, a densidade dos protões, que altera o volume, e a temperatura dos iões, que altera o modo, a consonância e a direcção da melodia. Estes parâmetros, através do método de mapeamento de parâmetros, resultam numa composição que se torna mais dissonante com os iões em baixas temperaturas, e mais consonante e agradável em altas temperaturas (Frazier, 2013). O objectivo foi a criação de protótipos de composições científicas, explorando um futuro onde a sonificação pode estar presente no quotidiano, tocada na rádio como qualquer outra música e fornecendo o estado de dados científicos em tempo-real à população.

O vídeo **150 Years of Global Warming in a Minute-long Symphony** foi desenvolvido por Mark Rice-Oxley, Alex Purcell e Ekaterina Ochagavia, e publicado em Novembro de 2016 no jornal britânico *The Guardian*.

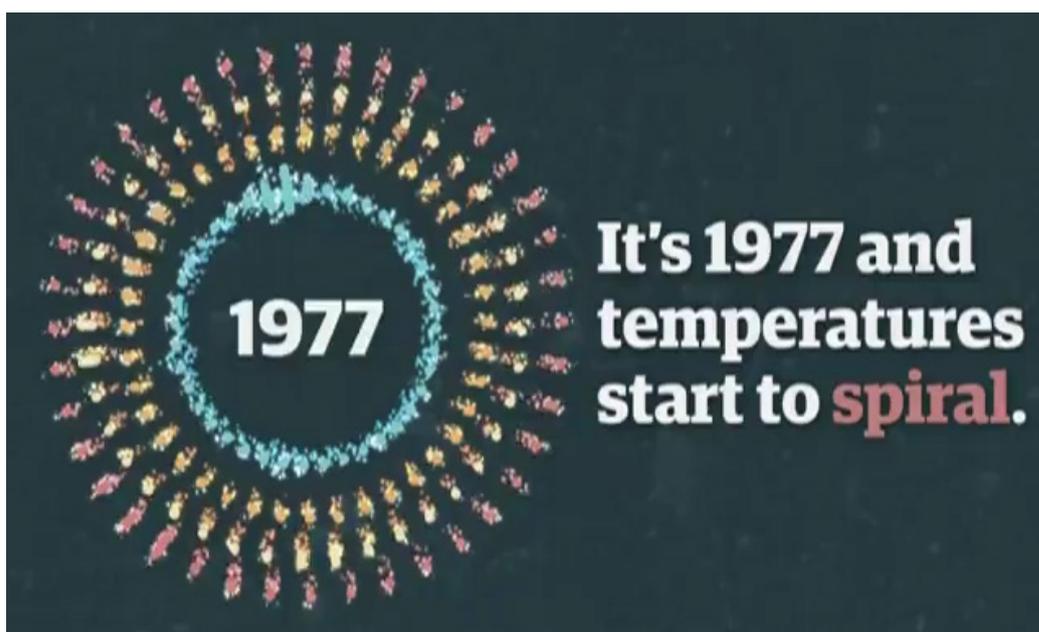


Figura 25: Screenshot do vídeo *150 years of global warming in a minute-long symphony*

Fonte: <https://www.theguardian.com/global/video/2016/nov/18/150-years-global-warming-minute-long-symphony-video>

A temperatura é mapeada pela frequência, que se torna cada vez mais aguda com o aumento da temperatura global, e a quantidade de carbono na atmosfera controla a intensidade. A sonificação inicia-se no ano de 1880, com a temperatura a rondar os 14° C, e mantém-se nesta média até meados da década de 1970, onde

os valores começam a aumentar substancialmente (Figura 25). A visualização, através de um conjunto de círculos, acompanha o aumento dos valores, com o círculo azul a representar temperaturas mais baixas, e o vermelho, com mais anéis, a representar temperaturas maiores e que constituem já algum perigo para a civilização. Este vídeo, que dura apenas um minuto, torna-se musicalmente eficaz na transmissão destes dados científicos, com o som das cordas a tornar-se cada vez mais forte e mais agudo no último terço do vídeo, e até algo desconfortável, evidenciando o perigo inerente das alterações climáticas e a necessidade de tomar medidas que impeçam a continuação deste retrato.

Dentro da temática da climatologia, surgiu ainda o trabalho desenvolvido por Martin Quinn em 2000, denominado ***The Climate Symphony***. Esta sonificação utiliza dados da composição química de um bloco de gelo, recolhido na Gronelândia no âmbito do projecto *Greenland Ice Sheet Project II* (GISP2) (Figura 26), em 1993 (Quinn, 2001).



Figura 26: Local de perfuração do projecto *Greenland Ice Sheet Project II* (GISP2)

Fonte: <http://www.sciencepoles.org/interview/greenland-ice-sheet-project-and-international-trans-antarctic-expedition>

Os dados recolhidos consistem na concentração de oito iões encontrados nos componentes solúveis da atmosfera, referentes a eventos terrestres, desde vulcões, raios, produção biológica, etc. A análise e combinação destes dados providencia

a história climática sofrida pelos lençóis de gelo continentais nos últimos 110000 anos, desde secas a cheias, tempestades a paz, e alterações biológicas (Quinn, 2001). Esta narrativa foi a inspiração-base de Quinn, que achou que os gráficos não transmitiam “a beleza e vida terrestre, devendo esta ser experienciada através de música“ (Quinn, 2001).

O mapeamento sonoro foi feito associando os níveis de concentração dos iões à frequência, em que quanto maior a concentração, maior é a frequência, diferenciando os elementos químicos com diferentes timbres. O resultado foi uma sonificação de cerca de 7 minutos, percorrendo 150 anos por segundo durante os primeiros dois minutos, aumentando a velocidade para o dobro (350 anos por segundo) no tempo restante (Figura 27).

Figura 27: Página inicial da partitura de *The Climate Symphony* (Quinn, 2001)

Apesar de ser uma sonificação complexa, este trabalho não inclui ainda distribuição sonora tridimensional. Esta investigação e implementação seria benéfica para a aplicação da sonificação num espaço físico, experiência pretendida pelo autor.

Por último, referenciam-se os trabalhos de Alexis Kirke, compositor e investigador do Centro Interdisciplinar de Investigação de Música Computacional da Universidade de Plymouth.

Cloud Chamber é uma performance de um dueto entre um violinista e partículas subatómicas (Solon, 2011). Nesta actuação, é utilizada uma câmara de vidro com partículas de Rádio-225, que quando saturada com etanol e arrefecida por nitrogénio líquido, torna visível a cor e distribuição das partículas, e conseqüentemente os seus padrões de movimento. O violino é electricamente ligado à câmara, influenciando a movimentação das partículas e alterando o seu comportamento. Estas, por sua vez, respondem ao estímulo sonoro através da síntese granular do próprio estímulo, mapeado por uma série de parâmetros consoante a cor e as coordenadas das mesmas (Kirke et al., 2011). Esta interacção permite que o violinista e as partículas se influenciem mutuamente, numa performance de 15 minutos ao vivo (Figura 28) (Kirke et al., 2011).



Figura 28: Screenshot do vídeo ““Cloud Chamber” subatomic particle duet performed at California Academy of Sciences”

Fonte: <https://www.youtube.com/watch?list=UUx804WD14h9bEiMcNroPI6Ae?v=GuTatlopBhk>

Outro projecto recente de Kirke, de 2013, juntamente com Martin Ware, focou-se na **sonificação da carreira de David Bowie**.

O duo analisou estatísticas de diferentes naturezas, desde a emocionalidade das letras de Bowie ao longo dos anos, a proeminência de modos maiores ou menores nas suas composições, ou a venda dos álbuns (Solon, 2013). O conteúdo emocional é retirado e analisado utilizando o léxico *ANEW - Affective Norms for English Words* (Bradley & Lang, 1999), que devolve os resultados de valência e *arousal* do modelo de Russell (1980). A valência é associada à frequência, e o tempo e a intensidade ao *arousal*, cujos resultados demonstram um aumento de sentimentos positivos até ao single “Let’s Dance”, através do som de um piano (Figura 29). A venda internacional dos álbuns tem uma sonoridade mais próxima da música electrónica, demonstrando o pico de vendas dos anos 70 com frequências muito agudas (Solon, 2013; Kirke, 2016).

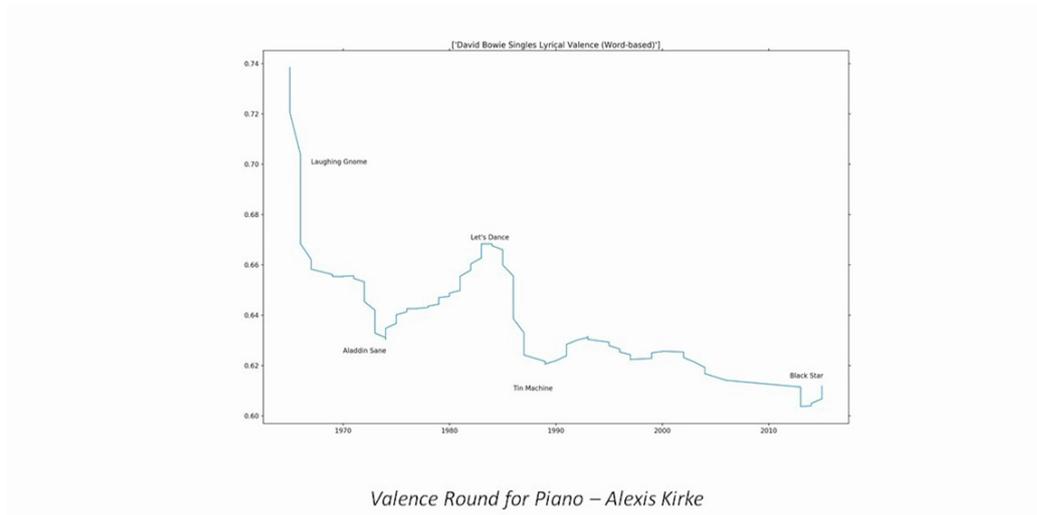


Figura 29: Gráfico do valor de valência recolhido da análise das letras de Bowie (Kirke, 2016)

Um dos mais recentes projectos de Kirke foi partilhado em Fevereiro de 2017, denominado **trumpTones**. Kirke construiu um sistema que analisou mais de 84000 palavras de discurso de Donald Trump, de 1990 a 2017, transformando-os numa composição de sonoridade *acid house* (Kirke, 2017; Julious, 2017). Tal como na sonificação de Bowie, foi utilizado o modelo de valência / *arousal* de Russell (1980).

O vídeo publicado é dividido em duas partes: na primeira, é usada a frequência de corte de uma linha de baixo para sonificar a valência; na segunda, o valor de *arousal* é mapeado através da ressonância de uma segunda linha de baixo (Kirke, 2017).

2.3.2 Redes sociais e comunicação *online* como fontes de dados

Listening Post é uma instalação desenvolvida em 2002 por Ben Rubin e Mark Hansen, com uma componente visual e sonora que expõe em tempo-real conversações a decorrer em milhares de *chats* e fóruns *online* (Figura 30). Os textos recolhidos são lidos por um sintetizador vocal, e mostrados numa grelha de mais de 200 pequenos ecrãs (Rubin & Hansen, 2002).

Os criadores tiveram como objectivo escolher uma fonte de dados com qualidades emocionais, “que fossem universais e humanas” (Rubin & Hansen, 2002) e transmitissem a necessidade da conexão entre pessoas. Desta forma, focaram-se nas salas de *chat*, onde os utilizadores trocam histórias, sentimentos e opiniões, revelando assim o conteúdo, magnitude e imediatismo da comunicação virtual (Rubin & Hansen, 2002).

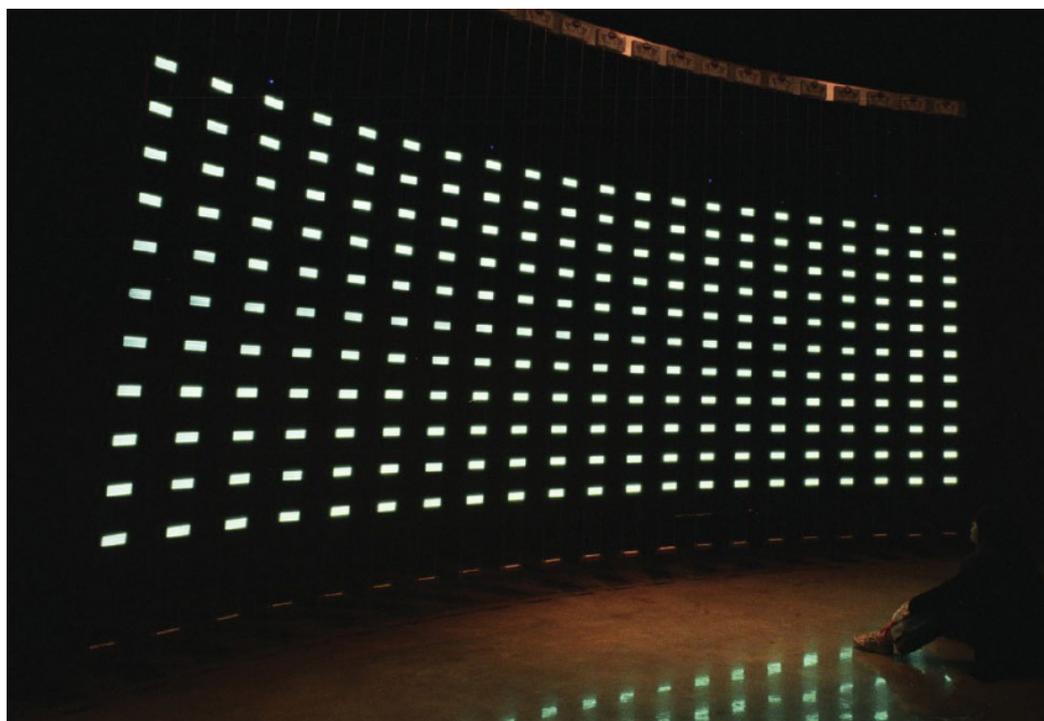


Figura 30: Exibição do *Listening Post* no MIT List VisualArts Center, em 2004 (Rubin & Hansen, 2002)

O trabalho **Listen to Wikipedia**, desenvolvido em 2013 pelos designers Stephen LaPorte e Mahmoud Hashemi, caracteriza-se por uma sonificação visual das edições de páginas e artigos da *Wikipedia* em tempo-real (Figura 31).

Os sinos são usados para indicar adição de artigos, e o dedilhar de uma

corda denota a eliminação de artigos. As frequências dos sons indicam a extensão da edição: quanto maior, mais grave é a nota tocada. Os círculos verdes indicam edições por utilizadores não registados, sendo novos utilizadores anunciados textualmente e através do som prolongado de instrumentos de cordas (LaPorte & Hashemi, 2013). Carregando num círculo, o utilizador é direccionado para uma página com a revisão efectuada. O utilizador também pode filtrar as edições que surgem na visualização por idiomas, especificando as línguas a partir de uma *checklist*. Por omissão, surgem só edições da *Wikipedia* inglesa, que conseguem atingir as 100 por minuto.

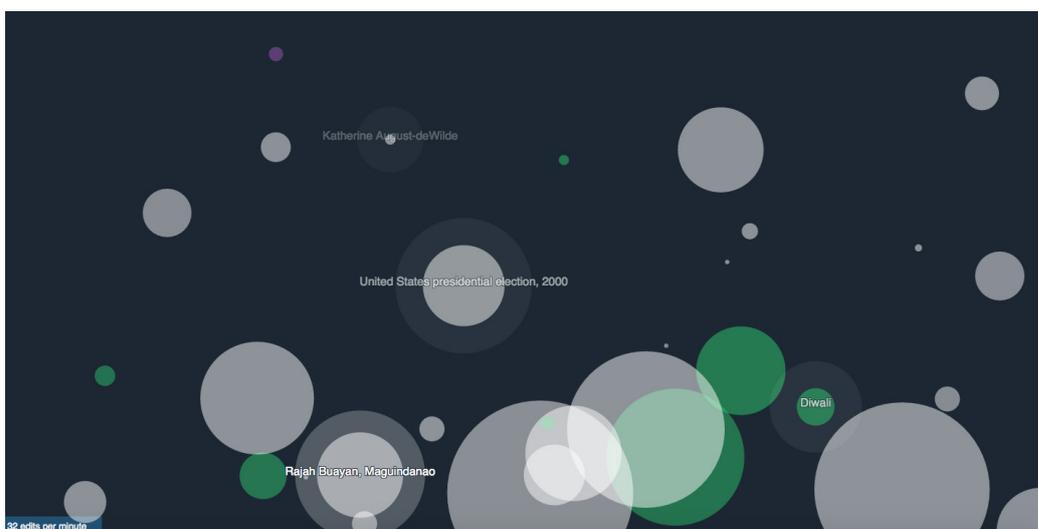
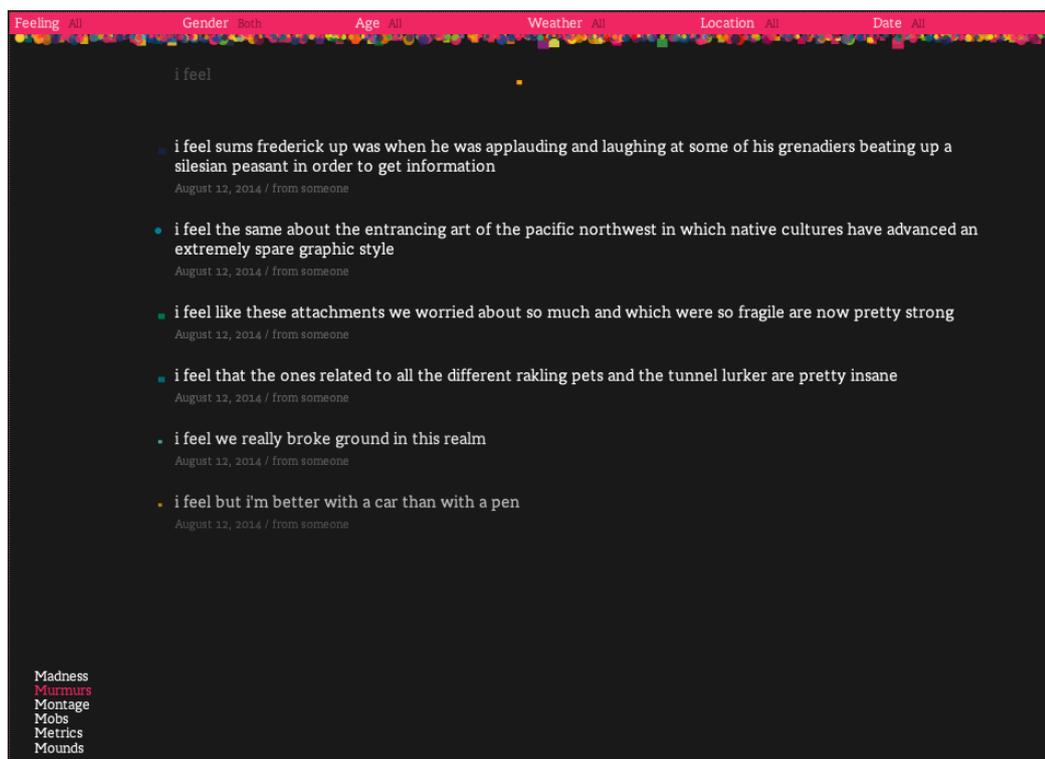
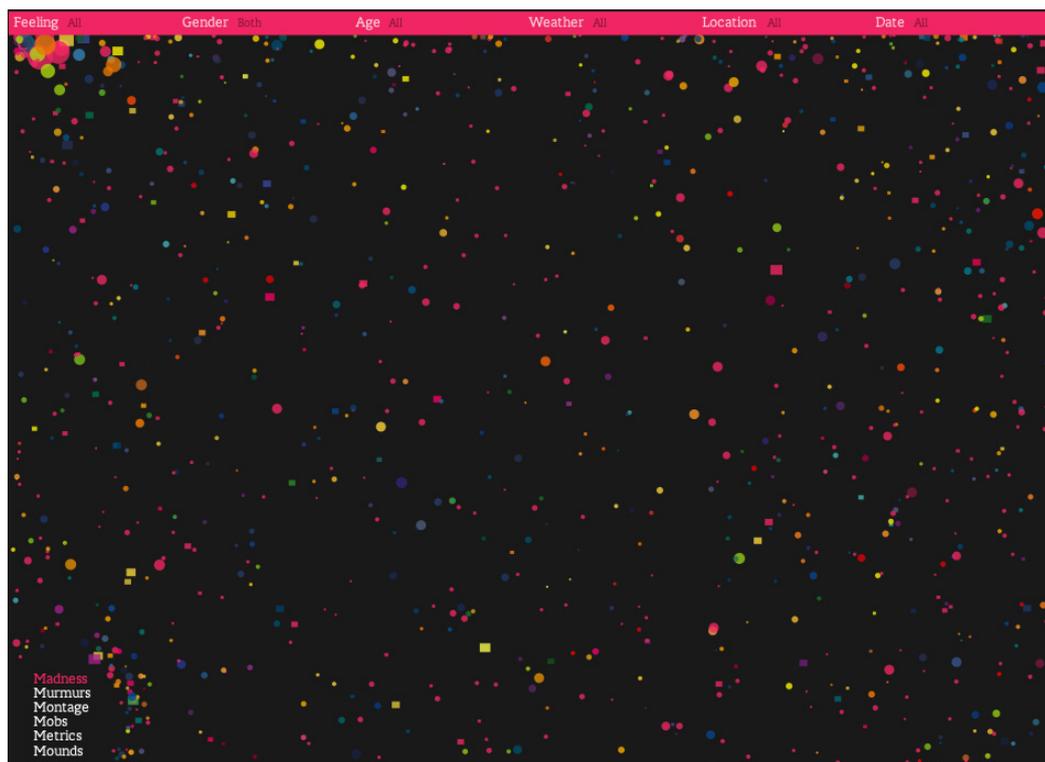


Figura 31: Screenshot do site *Listen to the Wikipedia*
Fonte: <http://listen.hatnote.com/>

O trabalho *We Feel Fine* foi criado em 2006 por Jonathan Harris e Sep Kamvar, e designa-se como “uma exploração da emoção humana em escala global” (Harris & Kamvar, 2006).

O site caracteriza-se por uma visualização que recolhe emoções humanas de um número vasto de blogs, procurando por entradas que contenham a expressão “*I feel*” ou “*I am feeling*” (eu sinto). Ao encontrar uma ocorrência, a frase é guardada e analisada, identificando a emoção contida na frase, em conjunto com a idade, género e localização geográfica do autor. A interface é dinâmica, permitindo analisar os dados por todas estas variáveis ou por sentimento, conseguindo responder a questões como “o que é que as pessoas estão a sentir em França?” ou “os europeus estão mais tristes que os americanos?” (Harris & Kamvar, 2006), que permitem uma análise demográfica e sociológica interessante e até recreativa.



Figuras 32 e 33: Screenshots do site *We Feel Fine*, na página principal e organizada pela opção *Murmurs*
 Fonte: <http://wefeelfine.org/>

A página inicial mostra um sistema de partículas (Figura 32), em que cada partícula representa um único sentimento de um indivíduo. As propriedades de cada partícula, nomeadamente a cor, tamanho, forma e opacidade, traduzem a natureza do sentimento associado. As partículas podem ser organizadas por seis movimentos: *Madness*, que é o estado por omissão, sem organização; *Murmurs*, com uma listagem das frases recolhidas (Figura 33); *Montage*, com uma grelha de fotografias dos autores das frases; *Mobs*, que permite uma listagem dos sentimentos ordenada por frequência, idade, género, condições climatéricas e localização geográfica; *Metrics*, com uma lista de sentimentos mais representativos; e *Mounds*, com gráficos representativos dos sentimentos mais comuns.

É construída assim uma vasta base de dados de emoções, com 15000 a 20000 novas emoções adicionadas diariamente.

O trabalho *#tweetscapes*, desenvolvido em 2012 por Thomas Hermann, Anselm Nehls, Florian Eitel, Tarik Barri e Marcus Gammel, consiste na sonificação de *tweets* alemães (Figura 34), em tempo-real, criando uma composição colectiva e volátil a cada segundo. O objectivo deste trabalho, segundo Hermann et al. (2012), é “criar uma nova forma de consciência dos *media*, exemplificando o uso de como o som pode ser uma ferramenta útil na monitorização de aplicações.”



Figura 34: Screenshot do vídeo do “#tweetscapes - listen to twitter”

Fonte: https://www.youtube.com/watch?v=0lKSFlB_-Q0&t=2s

São mapeados quatro tipos de elementos distintos do *Twitter*, que revelam diferentes formas de utilização da plataforma: os *tweets* simples, sem *hashtags* nem respostas; as respostas, direccionadas de um utilizador para outro; os *tweets* com *hashtags*, que destacam um determinado tema, e ainda as tendências, caracterizadas pelas *hashtags* mais utilizadas. Para além disso, é também distinguível a localização do *tweet*, de forma a perceber a distribuição geográfica de utilização.

Os parâmetros de mapeamento sonoro, descritos por Hermann et al. (2012), são cinco: o impacto (ataque, intensidade, timbre), associado ao número de seguidores do autor do *tweet*; o *stereo panning*, associado à localização geográfica do *tweet* e mapeado como se o ouvinte estivesse no centro da Alemanha; a reverberação, que mapeia a distância do local do *tweet* ao centro do país; o *delay*, que produz um efeito de eco consoante o número de *retweets*; e a complexidade do conjunto de *samples*, associado à actividade global de utilização. Os eventos das *hashtags* já diferem nalguns parâmetros, utilizando um conjunto de *samples* diferente, dependendo do número de consoantes na *hashtag*, e com a duração dos eventos associados à actividade global. A visualização reflecte a localização geográfica dos *tweets*, diferenciando os eventos por cor e adicionando uma seta nas respostas, que interliga a localização do *tweet* do autor da resposta à do autor do *tweet* original.



Figura 35: Screenshot do vídeo do “What happens on Twitter when Germany scores. Euro 2012”
Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=vOEDzdYgnDU&t=3s>

Este projecto esteve disponível durante três anos num *site online*, e chegou a integrar um programa regular de uma rádio alemã, explorando meios de tornar a sonificação conhecida publicamente e acessível a toda a comunidade. Actualmente, por falta de fundos, a sonificação já não se encontra activa, estando somente disponível um vídeo representativo do projecto.

O trabalho ***Tweet Sentiment Visualization***, desenvolvido em 2011 por Siddarth Ramaswamy e Christopher Healey, consiste na visualização de sentimentos de *tweets*. O utilizador escreve uma palavra-chave, e é feita uma pesquisa que recolhe *tweets* recentes que contenham a palavra procurada.



Figura 36: Screenshot da visualização do tipo “Sentiment” da aplicação *Tweet Sentiment Visualization*

Fonte: https://www.csc2.ncsu.edu/faculty/healey/tweet_viz/tweet_app/

A análise de sentimentos é realizada com base no modelo de Russell (1980), utilizando três léxicos para análise de sentimentos: *ANEW - Affective Norms for English Words* (Bradley & Lang, 1999), um versão extensa do *ANEW* (Warriner, Kuperman, Brysbaert, 2013), e ainda um léxico desenvolvido por investigadores da Universidade de Vermont (Dodds, Harris, Kloumann, Bliss, Danforth, 2011).

A Figura 36 representa o primeiro tipo de visualização possível, que representa os *tweets* recolhidos inseridos no modelo de Russell. Cada círculo representa um *tweet*, em que a cor é associada à valência (os positivos são verdes, os negativos azuis), a luminosidade à *arousal* (os mais activos são mais claros, e vice-versa) e o tamanho e a transparência ao grau de confiança com que o algoritmo categorizou

o sentimento (Healey & Ramaswamy, 2011). São possíveis mais oito tipos de visualizações: por tópicos, agrupando os *tweets* associados a temas comuns; por mapa de calor, que divide os *tweets* por regiões dentro do modelo de Russell; por nuvem de *tags* (Figura 37), que organiza os termos que surgem com maior frequência em quatro nuvens, inseridas no modelo de Russell; por cronograma, organizando os *tweets* num gráfico temporal; por mapa, mostrando a localização geográfica de cada *tweet*; por afinidade, através dos elementos (*tweets*, utilizadores, *hashtags*, *links*) em comum; por narrativa, unindo sequencialmente *tweets* que formam conversações sobre um determinado tópico; e por *tweets*, com uma tabela que mostra a data de publicação, utilizador, texto e valores de valência e excitação de cada *tweet*.

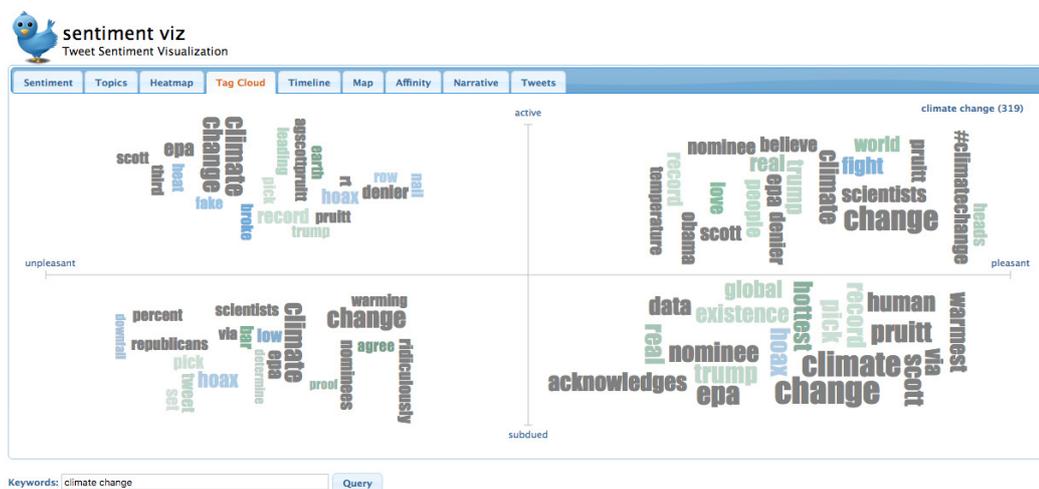


Figura 37: Screenshot da visualização do tipo “Tag Cloud” da aplicação *Tweet Sentiment Visualization*

Fonte: https://www.csc2.ncsu.edu/faculty/healey/tweet_viz/tweet_app/

Outro trabalho de visualização emocional de *tweets* é o **We Feel**, desenvolvido por Davie Milne, Cecile Paris, Helen Christensen, Philip Batterham e Bridianne O’Dea, em 2015. Tendo como inspiração o trabalho já referido *We Feel Fine*, de Harris e Kamvar (2006), *We Feel* fornece um retrato em tempo-real das emoções do *Twitter*, divididas em seis emoções: surpresa, alegria, amor, tristeza, medo e raiva. A percentagem das emoções retiradas em cada dia é mostrada através de um gráfico circular, e em cada hora num circular (Figura 38). É também mostrada uma estatística do género dos utilizadores. Este projecto utiliza um conjunto de léxicos compilados de múltiplas fontes, que inclui o *ANEW* (Warriner, Kuperman, Brysbaert, 2013) e o *LIWC (Linguistic Inquiry and Word Count)* (Pennebaker et al., citado por Milne et al., 2015).

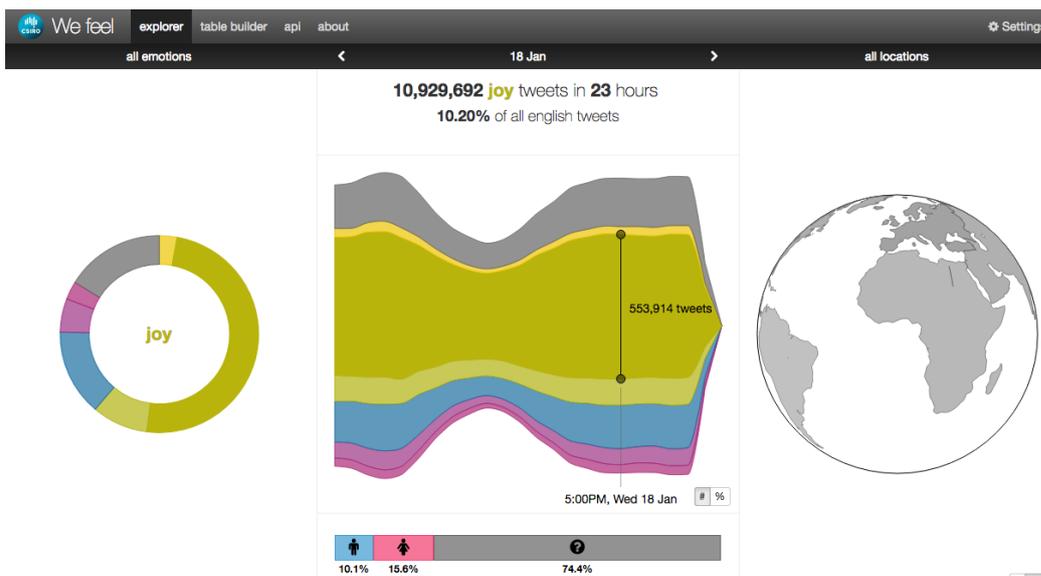


Figura 38: Screenshot da visualização *We Feel*

Fonte: <http://wefeel.csiro.au/#/>

É possível filtrar por emoção, que fornece dois níveis mais detalhados de cada emoção, com subdivisões referentes a estados de espírito: a tristeza, por exemplo, subdivide-se em vergonha, tristeza, desilusão, negligência e sofrimento, com cada uma a subdividir-se ainda em mais de 15 estados (Figura 39). A aplicação ainda permite a filtragem por localização, visualizando somente a informação emocional de *tweets* de um determinado continente, e por dia, tendo acesso a informação de dias passados.

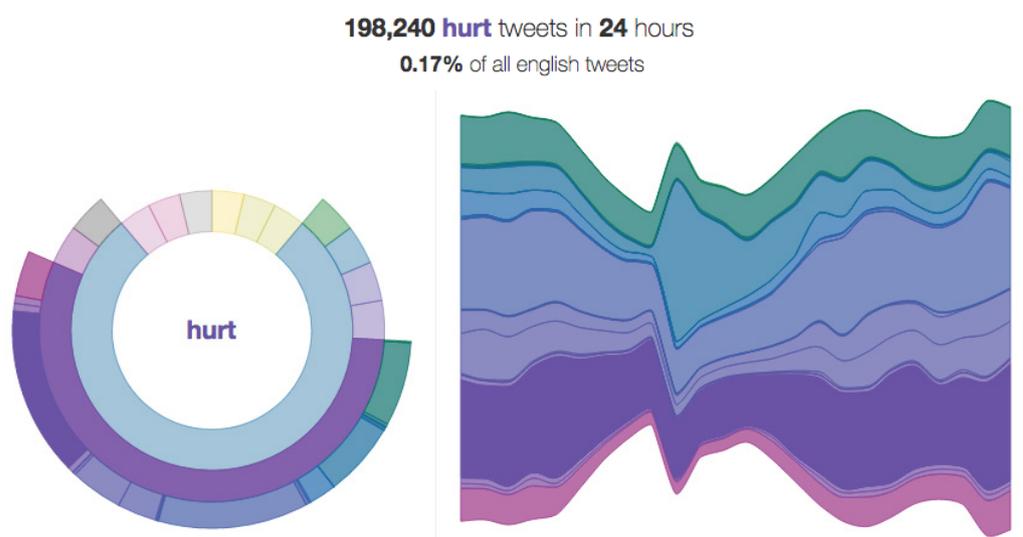


Figura 39: Screenshot da emoção "hurt" na visualização *We Feel*

Fonte: <http://wefeel.csiro.au/#/>

O último projecto a referir é um que se diferencia pelo resultado final ser um objecto físico. **Moodlight**, desenvolvido por Connor Nishijima em 2015, é um projecto do *KickStarter* que propõe um pequeno candeeiro de secretária, cuja luz define as emoções retiradas do *Twitter*, através de variações de tonalidade (Figura 40). São mapeadas seis emoções principais, associadas a seis cores: alegria, surpresa, amor, tristeza, raiva e medo, associadas respectivamente a amarelo, violeta, rosa, azul, vermelho e verde. A luz é definida por um micro-controlador, com módulos que controlam os canais da cor e acedem à Internet para recolher a informação dos *tweets*.

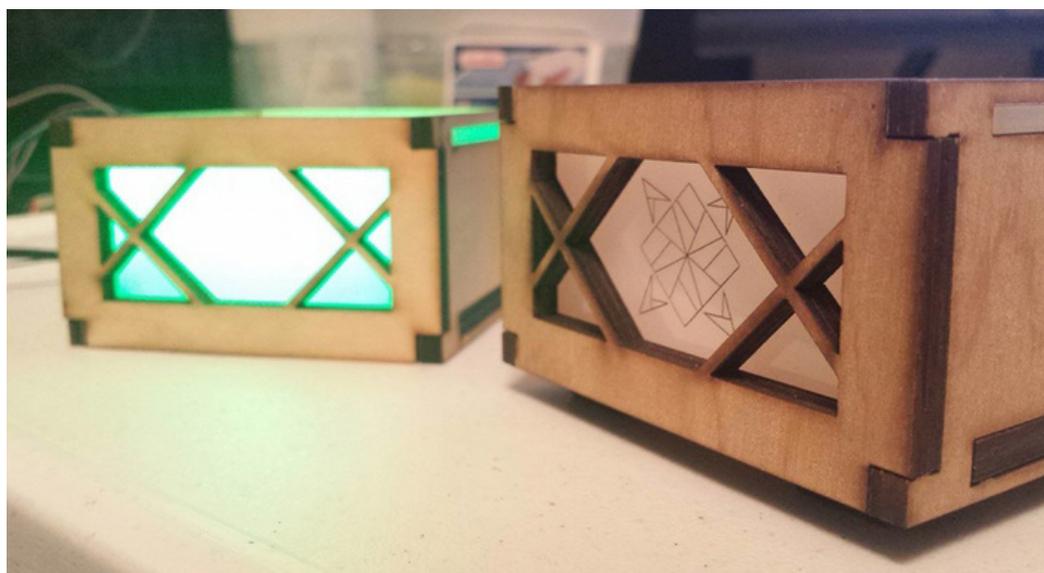


Figura 40: fotografia do objecto proposto em *Moodlight*

Fonte: <https://www.kickstarter.com/projects/connornishijima/moodlight-a-wifi-enabled-window-to-the-worlds-emot>

A premissa deste trabalho é semelhante ao que se pretende alcançar nesta dissertação, procurando uma análise do estado da comunidade *online* e traduzindo as “emoções do mundo” (Nishijima, 2015), neste caso para uma peça de decoração que fornece uma actualização constante deste estado.

2.3.3 Emoções como fontes de dados

No campo da sonificação, o tema das emoções como informação a mostrar não tem sido alvo de extensa exploração (Winters & Wanderley, 2013).

O trabalho desenvolvido no *IDMIL* (Input Devices and Music Interaction Lab) da Universidade de McGill, por Winters e Wanderley (2013, 2014) é motivado exactamente por esta temática, ligada à computação afectiva e almejando mecanismos de evocação de emoções em música (Winters & Wanderley, 2013).

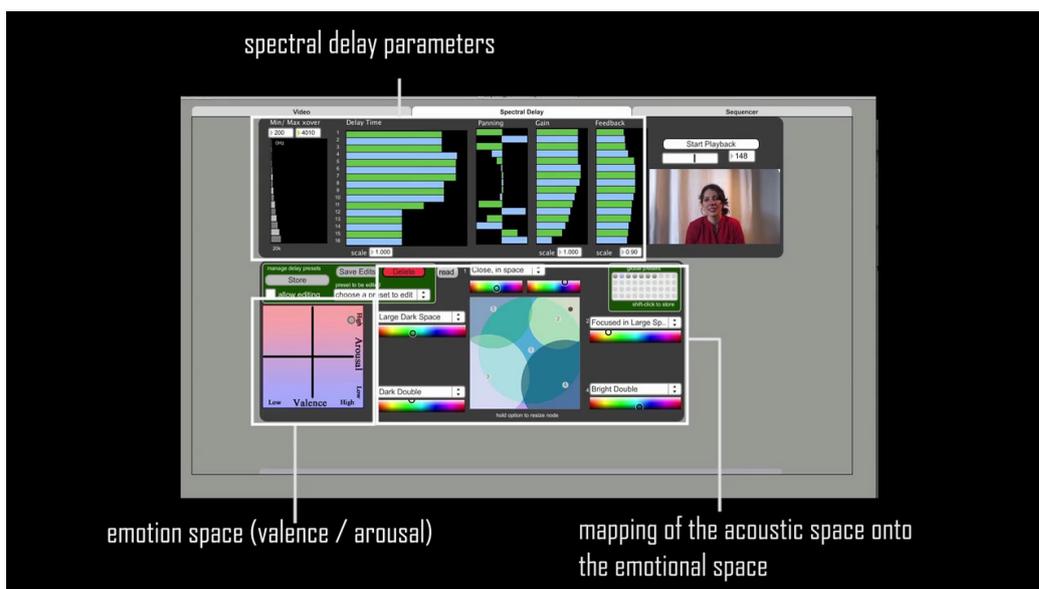


Figura 41: Screenshot do vídeo “Emotion Driven Audio”

Fonte: <https://vimeo.com/53756746>

Uma das teorias exploradas é a ideia de que a música partilha muitas das características acústicas da expressão emocional da voz (Juslin citado por Winters & Wanderley, 2013), nomeadamente o tempo, intensidade, variação de intensidade, frequência, variação da frequência, ataque e regularidade de estrutura a nível melódico (Bunt & Pavicevic citado por Winters & Wanderley, 2013). Esta teoria é baseada na ideia de “contágio emocional”, um processo onde a emoção é induzida pela percepção do estímulo e replicado internamente pelo ouvinte (Juslin & Västfjäll, citado por Winters & Wanderley, 2013). O sistema implementado, **Emotional Imaging Composer** (Figura 41), utiliza o modelo dimensional ou circunplexo de Russell (1980), procurando o reconhecimento em tempo-real dos valores de valência e *arousal*. O sistema foca-se no processamento de uma *performance* vocal, captando o estado emocional do vocalista e analisando-o com

base no mapeamento, que inclui parâmetros musicais como o tempo, intensidade, agressividade (*roughness*), decaimento e o modo (Figura 42) (Winters, Hattwick & Wanderley, 2013).

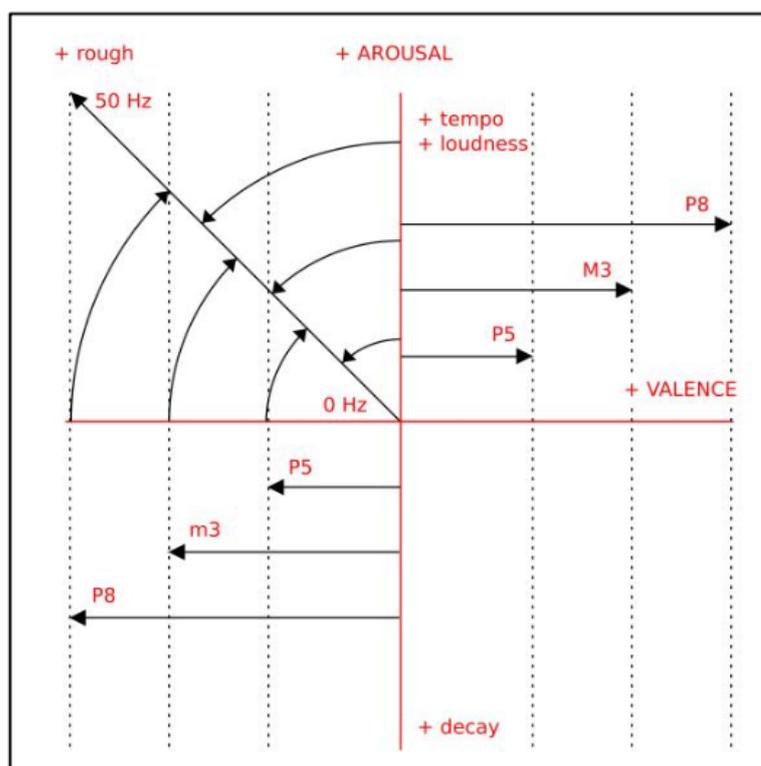


Figura 42: Resumo do mapeamento baseado no modelo de valência / arousal de Russell (1980) (Winters, Hattwick & Wanderley, 2013)

Outro trabalho que explora as emoções é uma instalação interactiva desenvolvida por Adriana Sá, John Klima, Sofia Oliveira e Jared Hawkey em 2008, chamada *Emotional Object* (Figura 43). Consiste num jogo para vários jogadores, que interagem com uma estrutura física e uma interface digital, através de uma composição musical. O modelo de emoções de Robert Plutchik (2001) é a base das duas interfaces, com a sua representação fiel a nível de emoções (24) e cores respectivas. Para além disso, é um objecto que roda, e que associa a cada um dos 24 estados emocionais, além das cores, uma composição musical (Sá et al., 2008).

O objectivo do jogo é manter a estrutura em equilíbrio, que depende das acções de todos os jogadores. Como cada acção acrescenta um peso à emoção correspondente, é fundamental a especulação dos movimentos de cada jogador, e como irá afectar o colectivo e a colocação desses pesos face à estrutura (Sá et

al., 2008). Estes momentos de reflexão são objectivo dos criadores, intensificadas pela “paisagem sonora interactiva” (Sá et al., 2008), construída pelas composições musicais de cada deslocação.



Figura 43: Fotografia da apresentação da instalação na ZDB em Lisboa (2009)

Fonte: <http://www.cityarts.com/emotionalobject/>

Emotion Sonification é uma recente experiência desenvolvida pelo colectivo Binaura, composto por Ágoston Nagy e Bence Samu. É uma sonificação visual, que utiliza análise de sentimentos, através do léxico *AFINN* (Hansen et al., 2011), para categorizar cada *tweet* com uma valência positiva ou negativa (Figura 44). É utilizado o Node.js para recolher e analisar os *tweets*, e uma biblioteca do *PureData*, a *libPd*.

Os próprios autores referem que “ajustar a representação sonora exige um sistema mais complexo” (Nagy & Samu, 2017). A sonoridade implementada assemelha-se ao som de um *drone*: o pólo negativo é associado a um modo menor, resultando num som seco e ruidoso; o pólo positivo é associado a um modo maior, com os harmónicos amplificados que resultam no som mais agradável. Cada *tweet* origina um som de percussão, com um *kick hit* associado ao pólo negativo, e um

high hat ao positivo. A frequência do som é associada à regularidade com que o conjunto de palavras analisadas surge no *Twitter*.

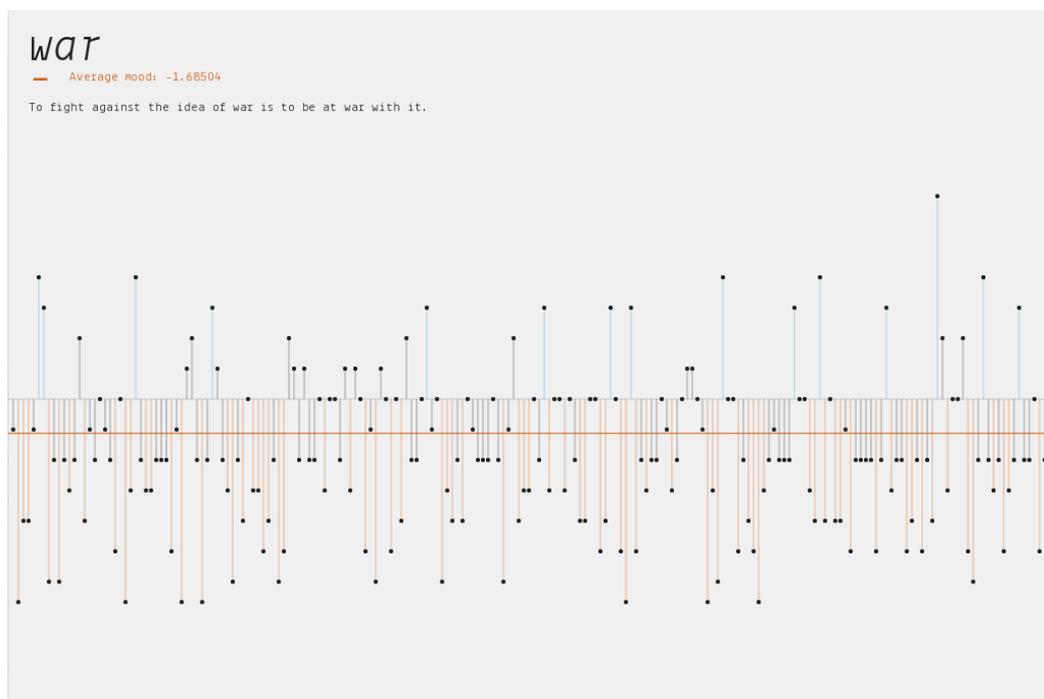


Figura 44: Screenshot do vídeo “Audible Emotions”

Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=6zS70qFg5a8>

3 METODOLOGIA

Objectivos

Processo

Plano de Trabalho

Desafios

3 METODOLOGIA

A Sonificação é um campo vasto de exploração, que exige a qualquer investigador da área uma capacidade de experimentação e de alguma incerteza acerca do resultado final. Existem bases de estudo, experiências realizadas, e técnicas já investigadas e aplicadas que servem como base concreta dessa exploração. Mas a falta de consolidação de métodos de sonificação e o facto do conjunto de dados possíveis de sonificar ser vasto e variável, resultam numa abordagem exploratória que exige um processo baseado em ciclos de tentativa e erro até descobrir uma solução eficaz.

Assim, a metodologia a adoptar neste projecto foi a de *Design Science Research (DSR)*, que se baseia exactamente nesta procura de soluções para um problema inicial identificado. Este exige um estudo aprofundado e compreensão do domínio, de forma a desenvolver iterativamente possíveis soluções e analisando o seu desempenho até encontrar aquela que mais se adequa.

3.1 Objectivos

Esta dissertação propôs-se a cumprir os seguintes objectivos:

1. Compreender as principais técnicas de sonificação;
2. Procurar as principais ferramentas de interpretação linguística e gramatical, testando a sua utilidade na extracção de informação de *tweets* de forma a otimizar o conjunto de dados;
3. Descobrir novas formas de leitura de *tweets*, e da informação que é possível retirar deles;
4. Explorar as possibilidades de tradução de dados escritos para sonoros, que melhor expressem a natureza dos mesmos;
5. Estudar noções de teoria musical, construção harmónica e melódica e de percepção musical, de forma a implementar um mapeamento que seja assimilado o mais correctamente possível;
6. Construir uma sonificação coerente, fluida e cativante, que expresse a natureza emocional dos dados em tempo-real;

Este sexto objectivo colmata os primeiros cinco, expressando o que se procura como resultado final desta dissertação. Pretende-se, com a sonificação desenvolvida, desbravar novos caminhos na investigação do uso de música como ferramenta na transmissão de dados tão subjectivos como as emoções humanas. Assim, procurou-se um resultado que formasse uma composição musical não só com algum nível de complexidade, mas também com uma estética e realidade musical que cumprisse regras da música ocidental, sonoridade reconhecível a que estamos habituados e que eleva a percepção da sonificação.

3.2 Processo

O processo de trabalho, de forma a cumprir os objetivos propostos, dividiu-se em três fases principais (Figura 45).

A primeira fase focou-se na investigação teórica, que se divide em dois processos paralelos: a assimilação do contexto e a definição do conceito. A noção do contexto inclui um estudo geral sobre a Sonificação, desde a definição, dificuldades, trabalhos e avanços realizados na área, tecnologias adequadas e técnicas possíveis. Em paralelo, encontra-se a definição do conceito e dos dados a sonificar, recolhendo trabalhos relacionados com o tema a tratar, quer na área de Visualização de Informação quer na de Sonificação. Estes dois pontos delimitaram o Estado da Arte e definiram a proposta de sonificação, estabelecendo um caminho relevante com potencial de exploração e inovação. Ainda se incluiu nesta fase a recolha de dados, exigindo a pesquisa e a implementação de bibliotecas que permitam o pedido e a recepção de *tweets* à API do *Twitter*.

A segunda fase incidiu na análise dos dados escolhidos para sonificar. Esta análise incluiu o estudo e experimentação de bibliotecas não só para a recolha dos *tweets* (quer em *Java*, quer em *Python*), como também para a interpretação linguística dos mesmos, passo fulcral na extracção de variáveis textuais. Também se incluiu nesta fase a análise de sentimentos do texto e classificação emocional, mais propriamente os léxicos e *APIs* existentes que contenham análise de emoções.

A terceira e última fase teve como foco principal o mapeamento musical, explorando a tradução das emoções para variáveis musicais e a construção musical da sonificação com recurso ao *Max*. Esta fase incluiu um estudo e adaptação de noções de teoria musical, com o intuito de definir linhas harmónicas, melódicas e rítmicas que se adequem aos dados recolhidos e à sua natureza emocional. Enquadra-se também o estudo e exploração de técnicas de sonificação, de forma a encontrar a que produz um resultado mais coerente e expressivo dos dados. Foi assim construído um sistema que mapeia as emoções aos parâmetros musicais definidos. A conclusão desta fase centrou-se na avaliação dos resultados, percebendo a eficácia do mapeamento implementado e a percepção das composições resultantes.

O ciclo iterativo da abordagem *DSR*, definida anteriormente, esteve presente não só entre as tarefas da terceira fase, como entre a segunda e a terceira fases. O mapeamento sonoro foi trabalhado e melhorado com base na experimentação e resultados, de forma sucessiva, assim como a própria análise linguística, sujeita a novos métodos consoante a eficácia do mapeamento.

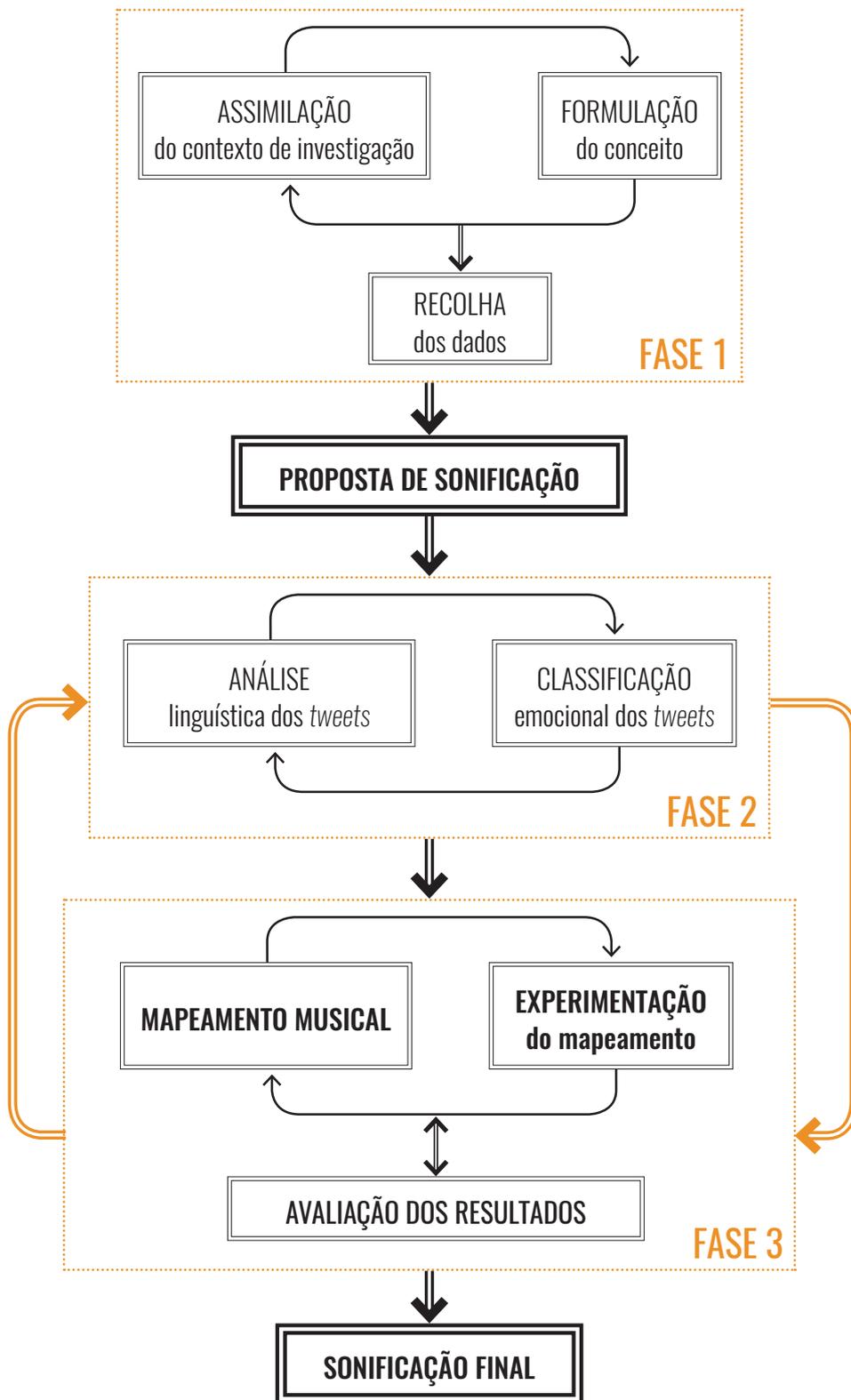


Figura 45: Esquema representativo do processo

3.3 Plano de trabalho

Com base nos objectivos e exigências de cada fase do processo, foi definido o plano de tarefas representado na Figura 46.

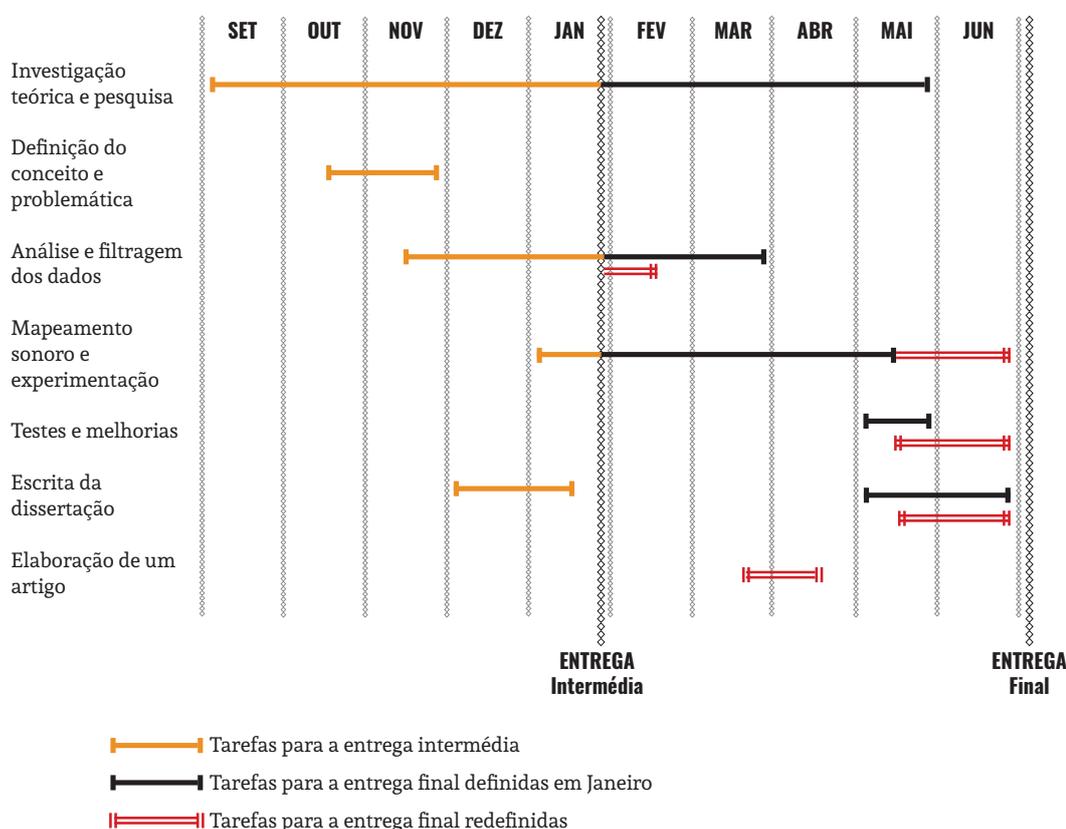


Figura 46: Esquema representativo do plano de tarefas

O projecto iniciou-se com a investigação teórica, contextualizando a área principal do trabalho e construindo a noção do que é a Sonificação, e dos avanços conseguidos até aos dias de hoje. Esta pesquisa foi substancial no primeiro semestre de trabalho, tendo sido fundamental na compreensão da matéria e na definição do tema a explorar. Em paralelo, iniciou-se, em meados de Outubro, a definição do conceito do trabalho, e os dados relevantes a sonificar. Surgiu aqui a hipótese de trabalhar dados de redes sociais, nomeadamente o *Twitter*, que se torna então a principal fonte de dados.

A terceira tarefa de análise e filtragem de dados começou de seguida, em meados de Novembro, no ambiente do *Processing*. Inicialmente, foi pensada como uma tarefa que se estenderia até inícios de Abril, explorando ainda algumas

ferramentas de análise linguística que pudessem obter melhores resultados. Contudo, sendo o foco deste projecto o mapeamento sonoro, optou-se por manter a ferramenta implementada no primeiro semestre, adiando o aprofundar da tarefa para exploração futura.

O mapeamento e experimentação sonora foi, assim, o foco e tarefa principal do segundo semestre, tendo sido iniciada ainda em Janeiro com esboços de um mapeamento possível a aplicar. Ao longo do semestre, foram estudadas e implementadas realidades harmónicas e melódicas que pudessem transmitir cada uma das emoções, tarefa que exigiu o estudo de teoria musical e da linguagem *Max/MSP*, onde o mapeamento foi desenvolvido. Para além disso, a exploração dos timbres incluiu a exploração de *VSTs* no *Ableton*, *software* que lê o *MIDI* produzido pelo *Max* e o toca.

A obtenção de resultados satisfatórios a nível de mapeamento e timbres escolhidos demorou mais tempo do que o previsto, tendo por isso a fase de testes, com elaboração de um questionário e avaliação das composições, sido iniciada somente em meados de Maio. Os testes focaram-se principalmente na eficácia do mapeamento sonoro, testando se os resultados sonoros expressam a emoção associada.

A escrita da dissertação dividiu-se em dois momentos, sendo o primeiro para a entrega intermédia, entre Dezembro e Janeiro, e o segundo para a preparação do documento final, que decorreu a partir de meados do mês de Maio até ao final de Junho, em paralelo com a realização de testes, avaliação dos resultados e melhorias da implementação. Entre o final do mês de Março e quase todo o mês de Abril, foi também elaborado um artigo (Apêndice F, pp. 181) para submissão no *13th International Symposium on Computer Music Multidisciplinary Research (CMMR) - Music Technology with Swing*, entretanto aceite para apresentação em Setembro de 2017, em Matosinhos.

3.4 Desafios

Esta dissertação apresentou uma série de desafios relacionados não só com a própria área de estudo, a Sonificação, como com o conjunto de dados escolhidos para sonificar.

A dificuldade maior focou-se no mapeamento entre os dados escritos e o resultado sonoro, pelo que a abordagem e técnicas utilizadas exigem muita experimentação e tempo de exploração. Foi fundamental um equilíbrio entre as variáveis utilizadas e a complexidade do som, de forma a conseguir manter a compreensão por parte do utilizador: se a sonificação tiver demasiadas camadas, apesar de conseguir traduzir mais variáveis, torna-se menos eficaz no seu objectivo principal, que é a transmissão de informação. Esta tem de se manter sempre acessível ao utilizador, de forma a produzir não só uma experiência agradável, mas também eficiente. Tendo esta meta sempre em mente, sendo outro objectivo uma sonificação musical, foi também importante almejar uma composição rica musicalmente, com um cuidado e lógica nos diversos parâmetros musicais. A estética musical foi, assim, uma variável a ter em consideração para o resultado final, principalmente ao ter como principal fonte de dados as emoções humanas.

4 PROCESSAMENTO DE DADOS

Recolha de Dados

Análise de Sentimentos

NLP: *Natural Language Processing*

Implementação e Filtragem

Avaliação dos resultados

4 PROCESSAMENTO DE DADOS

Um dos requerimentos para a criação de uma sonificação é a preparação dos dados a sonificar, recolhendo, filtrando e analisando um conjunto de dados que servem de variáveis a mapear. Para este projecto, sendo o objectivo a sonificação de emoções do *Twitter*, foi necessário recolher a informação dos *tweets*, e aplicar ferramentas de análise linguística e de extracção de emoções, utilizando a linguagem de programação *Processing*.

4.1 Recolha de dados

A primeira questão que surgiu, ao pensar na forma de recolher a informação dos *tweets*, foi “Que linguagem de programação utilizar?”.

Foram realizados alguns testes utilizando uma biblioteca em *Python*, denominada “*Minimalist Twitter API (twitter 1.17.1)*”, conseguindo com sucesso a comunicação com a *API* do *Twitter* e a desconstrução dos dados recebidos para uma lista, guardada num ficheiro de texto. Contudo, com o conhecimento prévio de que seria usado o *Processing* para comunicação com o *Max/MSP*, e para uma possível visualização, utilizar uma biblioteca em *Java* revelou-se a opção mais favorável e segura para explorar. Utilizou-se assim a biblioteca “*Twitter4J*”, construída em *Java*, por ser a única aconselhada no site oficial do *Twitter* para *developers* e, após alguma pesquisa, ser a mais actualizada e com mais funcionalidades. Para o acesso à *API* do *Twitter*, foi necessária a criação de uma aplicação no site (<https://apps.twitter.com/>) para obter credenciais de acesso que possibilitam os pedidos dos *tweets*.

Os *tweets* são compostos por uma série de campos, listados na tabela seguinte, que exclui aqueles que se encontram obsoletos (*deprecated*).

Tabela 3: Conteúdos de um *tweet*, traduzidos da documentação do site oficial do *Twitter* para *developers*
Fonte: <https://dev.twitter.com/overview/api/tweets>

<i>COORDINATES</i>	Localização geográfica do <i>tweet</i> , definida pelo utilizador, através da longitude e latitude
<i>CREATED_AT</i>	Data, no formato UTC, de criação do <i>tweet</i>
<i>CURRENT_USER_RETWEET</i>	ID do <i>retweet</i> do utilizador
<i>ENTITIES</i>	Entidades retiradas dos <i>tweets</i> , como hashtags, urls e menções de utilizadores
<i>FAVORITE_COUNT</i>	Número de vezes que um <i>tweet</i> foi gostado por utilizadores
<i>FAVORITED</i>	Booleano que indica se um <i>tweet</i> foi gostado ou não por um utilizador
<i>FILTER_LEVEL</i>	Indica o valor máximo do nível de filtragem do <i>tweet</i> , que especifica as <i>streams</i> em que é pesquisado
<i>ID</i>	Número identificador do <i>tweet</i>
<i>ID_STR</i>	ID do <i>tweet</i> , em formato texto
<i>ID_REPLY_TO_SCREEN_NAME</i>	Alcunha do autor original, se o <i>tweet</i> for uma resposta
<i>ID_REPLY_TO_STATUS_ID</i>	ID do <i>tweet</i> original, se o <i>tweet</i> for uma resposta

ID_REPLY_TO_STATUS_ID_STR	ID do <i>tweet</i> original, em formato texto, se o <i>tweet</i> for uma resposta
ID_REPLY_TO_USER_ID	ID do autor original, se o <i>tweet</i> for uma resposta
ID_REPLY_TO_USER_ID_STR	ID do autor original, em formato texto, se o <i>tweet</i> for uma resposta
LANG	Linguagem do <i>tweet</i>
PLACE	Objecto do tipo “Place”, que inclui as coordenadas, o país, o código do país, o nome completo, o id do local, o tipo de local, o nome, e o <i>url</i>
POSSIBLY_SENSITIVE	Booleano que indica se o <i>tweet</i> contém um link com conteúdo delicado
QUOTED_STATUS_ID	ID do <i>tweet</i> original, quando é um <i>tweet</i> citado
QUOTED_STATUS_ID_STR	ID do <i>tweet</i> original, em formato texto, quando é um <i>tweet</i> citado
QUOTED_STATUS	Objecto “Tweet”, do <i>tweet</i> original, quando é um <i>tweet</i> citado
SCOPES	Conjunto de pares chave-valor que indicam o contexto de envio do <i>tweet</i> . Actualmente, é utilizado pela promoção de produtos do <i>Twitter</i>
RETWEET_COUNT	Número de vezes que o <i>tweet</i> foi partilhado (<i>retweeted</i>)
RETWEETED	Booleano que indica se o <i>tweet</i> foi partilhado (<i>retweeted</i>)
RETWEETED_STATUS	Campo que distingue <i>tweets</i> de <i>retweets</i> , que contém uma representação do <i>tweet</i> original que foi partilhado
SOURCE	Representação do <i>tweet</i> numa sequência textual em formato HTML
TEXT	Texto principal do texto, que representa uma actualização no estado do utilizador
TRUNCATED	Booleano que indica se o texto do <i>tweet</i> sofreu cortes, geralmente por exceder o limite dos 140 caracteres
USER	Objecto do tipo “User”, que contém uma série de campos sobre o utilizador, como o ID, nome completo, número de seguidores, número de favoritos e localização geográfica
WITHHELD_COPYRIGHT	Booleano que indica se o <i>tweet</i> foi retirado por violação de direitos de autor
WITHHELD_IN_COUNTRIES	Conjuntos de códigos de países onde o <i>tweet</i> é bloqueado por violação de direitos de autor
WITHHELD_SCOPE	Indica se o conteúdo bloqueado é o <i>tweet</i> ou o utilizador

Foi criada uma estrutura de armazenamento no *Processing*, onde está a ser guardada uma série de campos dos *tweets*:

1. ID do *tweet*;
2. Dados do utilizador, inseridos num *HashMap* dentro do principal: nome, *id* e número de seguidores;
3. Texto principal (limitado a 140 caracteres);
4. Data de publicação;
5. Idioma;
6. Número de *retweets*;
7. Número de favoritos;
8. Localização (se incluída no *tweet*);
9. Lista das *hashtags*;



Figura 47: Exemplo de um *tweet*
Fonte: <https://twitter.com/jack/status/20?lang=pt>

4.2 Análise de sentimentos

A análise de sentimentos, ou extracção de opinião (*opinion mining*) citando Pang e Lee (2008), lida com a “análise computacional da opinião, sentimento e subjectividade em texto, (...) contendo algumas ligações à computação afetiva, cujos objectivos incluem a capacidade dos computadores para reconhecer e expressar emoções”.

Desde o trabalho pioneiro de classificação de críticas a filmes de Pang, Lee e Vaithyanathan (2002), a área da análise de sentimentos tem vindo a crescer substancialmente pelo potencial de extracção de informação. Investigadores têm activamente estudado o desafio de categorização automática de texto, não só para classificação de tópicos e temáticas, como de extracção de opinião para estudos sociológicos e comerciais, retirando reacções de consumidores face a produtos que permitem o reajuste de estratégias de *marketing*.

4.2.1 Sentimento versus Emoção

Numa pesquisa inicial sobre extracção de sentimentos, exploraram-se ferramentas como o *AFINN* (Hansen et al., 2011), *ANEW - Affective Norms for English Words* (Bradley & Lang, 1999), *DAL - Dictionary of Affect in Language* (Whissell, 1989), *SentiStrength* (Thelwall et al., 2010), *SentiWordNet* (Baccianella, Esuli & Sebastiani, 2010) e ainda o módulo *Pattern*, em *Python* (De Smedt & Daelemans, 2012).

Todos assumem uma variável de polaridade (valência), definida nos léxicos *AFINN*, *SentiStrength* e *Pattern* com um só valor, e no *SentiWordNet* dividido entre uma pontuação negativa e positiva. O *ANEW* e o *DAL* são construídos com base no modelo dimensional ou circumplexo de Russell (1980) (Figura 48), que contém dois eixos: valência e excitação (*arousal*). O primeiro, eixo horizontal, representa a polaridade da emoção, organizando as emoções negativas do lado esquerdo, e as positivas do direito; o segundo, eixo vertical, representa a intensidade da emoção, com as de maior intensidade na zona superior e as de menor intensidade na zona inferior.

Contudo, almejava-se não só a categorização da polaridade do *tweet* (positivo, negativo ou neutro), mas a categorização de emoções, conseguindo extrair alegria, tristeza e até raiva do texto partilhado.

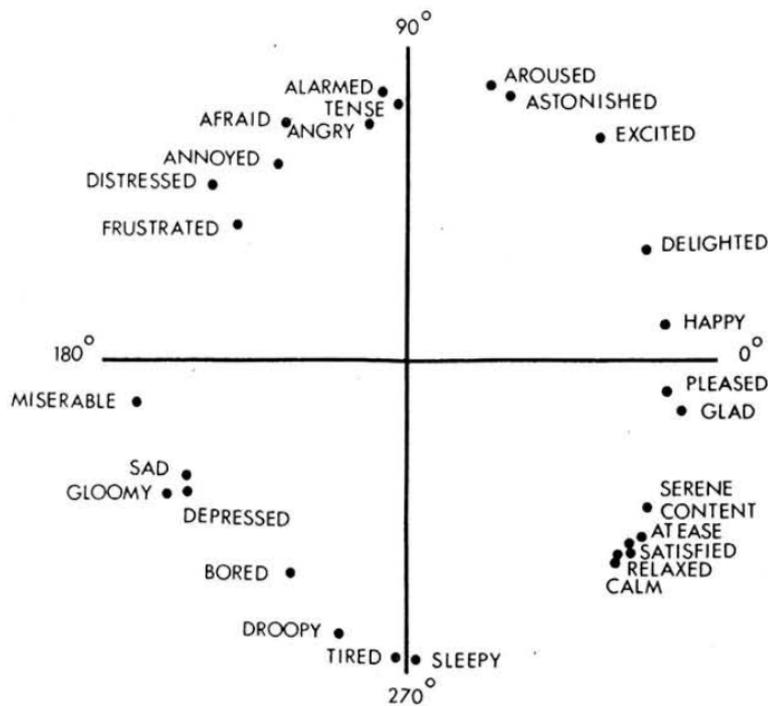


Figura 48: Modelo dimensional ou circunplexo de emoções (Russell, 1980)

4.2.2 Léxicos de emoções

O *WordNet-Affect* (Strapparava & Valitutti, 2004) surgiu como hipótese, utilizando para classificação de emoções “palavras afetivas”, definidas por Ortony, Clore e Foss (1987) como palavras que contêm uma conotação emocional (citado em Strapparava & Valitutti, 2004).

Visto a API do *Twitter* devolver *tweets* em quase 30 idiomas, constituía também interesse implementar a análise textual não só no inglês, expandindo o universo linguístico para eses idiomas. Esta foi a razão inicial de escolher como léxico-base o *NRC Word-Emotion Association Lexicon* (Mohammad, 2013): contém a tradução das palavras, através do *Google Translate*, em mais de 20 línguas. Claro que se deve ponderar a falibilidade da tradução, que pode originar erros de gramática e construção da frase e, conseqüentemente, erros na análise. Todavia, como a análise será feita palavra a palavra, retirando a emoção dos elementos fundamentais da frase, a ordem ou até sentido dos elementos como um todo torna-se irrelevante, permitindo a extracção geral das emoções contidas.

Para além disso, ao estudar o percurso de investigação do autor do *NRC*, foi descoberto um outro léxico, baseado especificamente nas emoções contidas em

tweets com *hashtags* das oito emoções de Plutchik (Mohammad & Kiritchenko, 2013). Exemplificando, se um *tweet* contivesse a *hashtag* #joy, o conteúdo era analisado e classificado com essa emoção. Este léxico contém 16,862 unigramas (elementos de uma só palavra), em comparação aos 14,182 do *NRC*, contendo as emoções associadas a cada palavra e um valor que traduz a força de associação.

Ambos os léxicos utilizam para a categorização de emoções o modelo tridimensional de Plutchik (Figura 49), cujas cores se associam ao posicionamento das emoções na roda. Citando o autor, “a dimensão vertical representa intensidade, e o círculo representa graus de similaridade entre emoções. Os oito sectores representam oito emoções primárias, organizadas em quatro pares de opostos (...): alegria vs. tristeza, raiva vs. medo, repulsa vs. confiança, e surpresa vs. antecipação” (Plutchik, 2001). São estas as oito emoções que foram extraídas dos *tweets*, e que são os elementos principais de tradução musical.

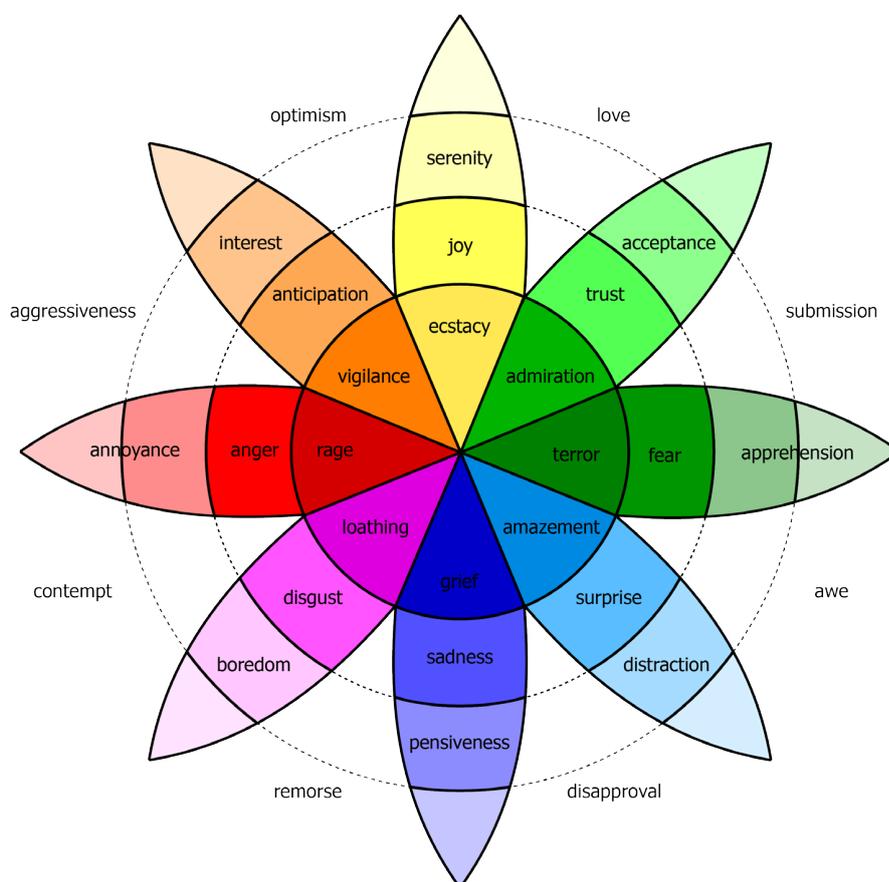


Figura 49: Modelo de emoções de Robert Plutchik

Fonte: <http://sharetheoils.com/wp-content/uploads/2013/02/Plutchik-wheel.pdf>

4.3 NLP: Natural Language Processing

São vastas as ferramentas e bibliotecas que existem para realizar a análise sintática de frases (em inglês, utiliza-se o termo *parsing*), passo necessário para a classificação emocional das palavras constituintes dos *tweets*.

Foram exploradas, tal como na recolha de dados, ferramentas em duas linguagens: *Python* e *Java*. Em *Python*, o módulo *Pattern* (De Smedt. & Daelemans, 2012), referido acima pelo módulo de análise de sentimentos, revelou uma utilização acessível e simples, permitindo uma análise gramatical com o denominado “*Part-of-Speech Tagger (POS)*” que identifica a função das palavras na frase (nomes, adjectivos, pronomes, entre outros). De igual forma se concluíram os testes utilizando o *NLTK (Natural Language Toolkit)* (Bird, Klein & Loper, 2009). Tendo optado pela exploração de bibliotecas em *Java* por permitir a permanência no ambiente do *Processing*, optou-se pelo uso da ferramenta *Stanford CoreNLP*, desenvolvida pelo grupo *Stanford NLP* da Universidade de Stanford, na Califórnia.

Esta biblioteca fornece o seguinte conjunto de principais ferramentas de análise linguística, cujos termos serão utilizados ao longo da explicação do trabalho realizado:

1. Lematização: extracção da forma canónica de uma palavra

EXEMPLO: *achieved* → *achieve*

2. Análise sintáctica (*parsing*): análise de uma sequência textual que determina a sua estrutura, em formato árvore, definindo não só a classificação gramatical de cada palavra (se é verbo, adjectivo, etc.), como a hierarquia entre elas, nomeadamente dependências (Figura 50).

Basic Dependencies:

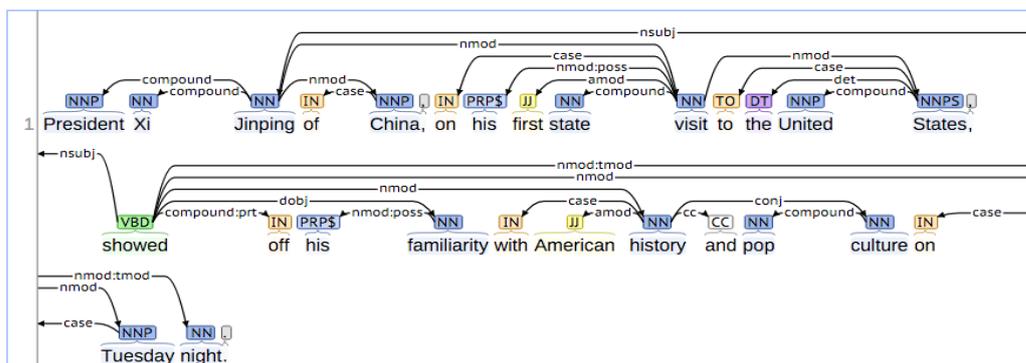


Figura 50: Exemplo da definição da estrutura gramatical e dependências

Fonte: <http://stanfordnlp.github.io/CoreNLP/>

3. Identificação de entidades: após a análise sintáctica, procede-se à classificação de entidades (Figura 51), sejam elas nomes de empresas, personalidades, países, entre outros.

Named Entity Recognition:

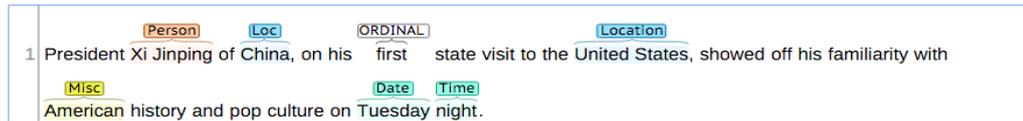


Figura 51: Exemplo de reconhecimento de entidades

Fonte: <http://stanfordnlp.github.io/CoreNLP/>

Para aumentar a probabilidade de categorizar emocionalmente o maior número de palavras de um *tweet*, surgiu a possibilidade de utilizar o *WordNet* (Miller, 1995), uma base de dados de léxicos em inglês desenvolvida pelo Laboratório de Ciência Cognitiva na Universidade de Princeton. O *WordNet* contém mais de 150000 palavras, e permite a procura de sinónimos e antónimos de uma determinada palavra. Para a recolha destas associações, utilizou-se uma biblioteca em *Java* denominada “*Java API for WordNet Searching (JAWS)*” (Spell, 2007).

4.4 Implementação e filtragem

A implementação da análise, com a recolha de dados e experimentação básica do léxico escolhido, o NRC, foi construída no *Processing*. Optou-se por limitar a análise somente à língua inglesa, não só por questões de *performace*, mas também para assegurar a eficácia da análise e do léxico, reservando a adaptação a outras linguagens para tarefa futura. O léxico, convertido de formato XLSX para CSV, sofreu logo de início uma filtragem, de forma a otimizar a leitura e filtrar resultados neutros, retirando as linhas cujas emoções estavam a 0, ou seja, não tinham classificação emocional. As 14182 palavras incluídas no léxico original foram então reduzidas a 6649 palavras com categorização emocional (não neutra). Os *tweets* são então recolhidos e guardados, sendo utilizados para análise o texto e as *hashtags*.

É realizado, no momento de recepção do *tweet*, o primeiro momento de filtragem no código, em que estão só a ser guardados os *tweets* na língua inglesa cujo autor tenha mais de 1000 seguidores, de forma a trabalhar somente informação com alguma relevância.

4.4.1 Aplicação de NLP

A análise dos *tweets* é composta por uma série de passos de filtragem das palavras, utilizando os dois léxicos desenvolvidos por Mohammad, o *NRC Word-Emotion Association Lexicon* (Mohammad, 2013) e o *NRC Hashtag Emotion Lexicon* (Mohammad & Kiritchenko, 2013), já referido anteriormente, de forma a obter a classificação mais completa de cada *tweet*.

O processo é composto, após o *parsing* e lematização, pelos seguintes passos:

1. Negação: ao obter a estrutura gramatical do texto, em formato árvore, um dos módulos da biblioteca de *Stanford* retira as dependências entre palavras. Os elementos de negação estão incluídos nesta definição, que alteram o sentimento ligado à palavra: a expressão “*don’t like*” deve ser procurada no léxico como “*dislike*”; de outra forma, as palavras “*not*” (negativo) + “*like*” (positivo) são classificadas, o que origina uma expressão neutra. É assim detectada a presença de uma negação na frase, recorrendo ao *WordNet* (Miller, 1995) para procurar antónimos da palavra negada.

2. Filtragem por classificação: além das dependências textuais, é feita a análise morfológica das palavras (“*Part-of-Speech Tagging (POS)*”), adicionando uma etiqueta (*tag*) que define se são substantivos, verbos, etc. A categorização ainda é

extensa, sendo possível as 36 siglas da Tabela 4. Ao pensar nos tipos de palavras que geralmente demonstram emoção, surgem três elementos principais: os substantivos, os verbos e os adjetivos. Os advérbios, apesar de não demonstrarem directamente emoção, caracterizam a intensidade ou modificam a acção descrita pelos outros três. É feita assim uma filtragem das palavras a procurar no léxico, retirando aquelas cuja classificação não se inclui nestes quatro tipos.

Tabela 4: Lista, por ordem alfabética, das etiquetas de “*Part-of-Speech Tagging*” usado no projecto Treebank

Fonte: http://www.ling.upenn.edu/courses/Fall_2003/ling001/penn_treebank_pos.html

Number	Tag	Description	Number	Tag	Description
1.	CC	Coordinating conjunction	19.	PRP\$	Possessive pronoun
2.	CD	Cardinal number	20.	RB	Adverb
3.	DT	Determiner	21.	RBR	Adverb, comparative
4.	EX	Existential <i>there</i>	22.	RBS	Adverb, superlative
5.	FW	Foreign word	23.	RP	Particle
6.	IN	Preposition or subordinating conjunction	24.	SYM	Symbol
7.	JJ	Adjective	25.	TO	<i>to</i>
8.	JJR	Adjective, comparative	26.	UH	Interjection
9.	JJS	Adjective, superlative	27.	VB	Verb, base form
10.	LS	List item marker	28.	VBD	Verb, past tense
11.	MD	Modal	29.	VBG	Verb, gerund or present participle
12.	NN	Noun, singular or mass	30.	VBN	Verb, past participle
13.	NNS	Noun, plural	31.	VBP	Verb, non-3rd person singular present
14.	NNP	Proper noun, singular	32.	VBZ	Verb, 3rd person singular present
15.	NNPS	Proper noun, plural	33.	WDT	Wh-determiner
16.	PDT	Predeterminer	34.	WP	Wh-pronoun
17.	POS	Possessive ending	35.	WP\$	Possessive wh-pronoun
18.	PRP	Personal pronoun	36.	WRB	Wh-adverb

3. Normalização: o último passo de filtragem e organização das palavras consiste na sua normalização, transformando os termos e abreviaturas da escrita corrente à sua forma canónica. Para isto, é utilizada uma combinação de dois léxicos, um desenvolvido por Han, Cook e Baldwin (2012), da Universidade de Melbourne, e o outro por Liu, Weng, e Wang (2011), da Universidade de Dallas. Este ficheiro junta, assim, 43591 pares de palavras retiradas de *tweets* com a respectiva normalização.

4.4.2 Utilização do NRC

Com a filtragem realizada, segue-se a categorização das emoções, procurando a existência de cada palavra nos dois léxicos e associando a(s) emoções descritas. Esta fase é constituída por quatro partes:

1. É procurada a palavra no *NRC Word-Emotion*, na sua forma original normalizada. Se existir no léxico, é então retirada e guardada a classificação emocional.

2. Se não existir, procura-se pelo respectivo lema, ainda no mesmo léxico, guardando as emoções associadas se encontrada a forma canónica.

3. No caso de não serem encontrados resultados nos dois passos anteriores, repete-se o processo para o *NRC Hashtag Emotion Lexicon*.

4. Se não forem encontrados resultados em ambos os léxicos, inicia-se a procura de um sinónimo do lema da palavra, recorrendo ao *WordNet*. Quando encontrado um sinónimo, repete-se a procura da palavra em ambos os léxicos.

Para a análise das *hashtags*, o processo é simplificado, pois o *parsing* deixa de ser necessário. O conteúdo da *hashtag* é assim procurado directamente no *NRC Hashtag Emotion Lexicon*. Foi decidido não incluir a procura no primeiro léxico, por estar a lidar directamente com expressões e termos do *Twitter*.

4.5 Avaliação dos resultados

Durante esta fase de testes e experimentação das várias ferramentas, a análise é guardada num ficheiro de texto para avaliação dos resultados, armazenando a seguinte informação:

1. Número, *id* e texto original do *tweet*;
2. O *parsing* realizado, escrito em formato lista com cada palavra (*token*) contida na frase, o respectivo lema e a classificação sintáctica (*tag*);
3. A lista de palavras após a análise de dependências, filtragem de classificações e normalização;
4. As palavras, uma por linha, com a respectiva categorização emocional (só são guardadas aquelas que foram encontradas nos léxicos);
5. A lista de *hashtags*, seguida da emoção encontrada para cada uma.

Com este processo de filtragem, a classificação emocional é aplicada à maioria das palavras filtradas, que resulta numa classificação geral diferenciadora de cada *tweet*, adaptável a uma sonificação variada (Figura 52).

```
.....
TWEET 1
////////////////////////////////////
TEXT: Confidence bounces back among #Swindon & West firms as weak pound encourages
overseas trade. Story https://t.co/1XLwuslDVD

TOKENS / LEMMAS / TAGS: [confidence/confidence/NN, bounces/bounce/NNS, back/back/RB,
among/among/IN, #swindon/#swindon/NN, &/&/CC, west/west/NN, firms/firm/NNS, as/as/IN,
weak/weak/JJ, pound/pound/NN, encourages/encourage/VBZ, overseas/overseas/JJ, trade/trade/
NN, ././., story/story/NN, https://t.co/1xlwusldvd/https://t.co/1xlwusldvd/CD]

NEGATED, FILTERED & NORMALISED: [confidence/confidence/NN, bounces/bounce/NNS, back/back/
RB, #swindon/#swindon/NN, west/west/NN, firms/firm/NNS, weak/weak/JJ, pound/pound/NN,
encourages/encourage/VBZ, overseas/overseas/JJ, trade/trade/NN, story/story/NN]

confidence: Positive: fear, joy, trust,
bounce: anticipation (0.24504793), trust (1.1021624), surprise (0.18596925),
back: anger (0.003666542),
SYNONYMS OF #swindon:
west: anticipation (0.4405238), surprise (0.15438767), disgust (0.056501932),
firm: fear (0.4013562), anger (0.012849395),
weak: trust (0.44960052), sadness (1.3843341), sadness (0.2261776), disgust (0.5317004),
disgust (0.16112253),
pound: Negative: anger,
encourage: Positive: joy, trust,
overseas: anticipation (0.9381951),
trade: Neutral: trust,
story: anticipation (0.47561857), surprise (0.09895787),

HASHTAGS: [Swindon]
swindon: anger (0.6567255),

- - - Tweet Emotional Classification - - -
Anger: 1.6732415
Anticipation: 2.0993855
Disgust: 0.7493248
Fear: 1.4013562
Joy: 2.0
Sadness: 1.6105117
Surprise: 0.43931478
Trust: 4.5517626
```

Figura 52: *Tweet* de exemplo da análise actual

Outro ponto positivo é o tempo do processo de análise e classificação: a conexão ao servidor do *Twitter* e configuração da recepção de *tweets* demora cerca de 4 segundos; a análise de cada *tweet* demora cerca de 1 segundo, até 0,5 segundos, conseguindo receber em média 1,6 *tweets* a cada segundo.

Nota-se alguma inconsistência na categorização emocional dos dois léxicos: o *NRC Word-Emotion* não inclui um valor de força de associação, classificando de forma binária as emoções que estão presentes (0 ou 1). Em contrapartida, o *NRC Hashtag Emotion Lexicon*, além de retornar uma maior quantidade de resultados, possui um valor contínuo (casas decimais), o que permite uma classificação mais dinâmica. Optou-se, assim, por retirar a procura no primeiro léxico, mantendo toda a categorização emocional, do texto e *hashtags*, fornecida pelo *NRC Hashtag Emotion Lexicon*.

```
TWEET 1
////////////////////////////////////
TEXT: Confidence bounces back among #Swindon & West firms as weak pound encourages
overseas trade. Story https://t.co/1XLwuslDvD

TOKENS / LEMMAS / TAGS: [confidence/confidence/NN, bounces/bounce/VBZ, back/back/RB,
among/among/IN, #swindon/#swindon/HT, &/&/CC, west/west/JJ, firms/firm/NNS, as/as/IN,
weak/weak/JJ, pound/pound/NN, encourages/encourage/VBZ, overseas/overseas/JJ, trade/trade/
NN, ././., story/story/NN, https://t.co/1xlwusldvd/https://t.co/1xlwusldvd/URL]

NEGATED, FILTERED & NORMALISED: [confidence/confidence/NN, bounces/bounce/VBZ, back/back/
RB, west/west/JJ, firms/firm/NNS, weak/weak/JJ, pound/pound/NN, encourages/encourage/VBZ,
overseas/overseas/JJ, trade/trade/NN, story/story/NN]

confidence: anticipation (0.2359981), fear (0.50051993), trust (1.9959803), trust
(0.5445466), joy (1.2006998), joy (0.023702988),
bounce: anticipation (0.24504793), trust (1.1021624), surprise (0.18596925),
back: anger (0.003666542),
west: anticipation (0.4405238), surprise (0.15438767), disgust (0.056501932),
firm: fear (0.4013562), anger (0.012849395),
weak: trust (0.44960052), sadness (1.3843341), sadness (0.2261776), disgust (0.5317004),
disgust (0.16112253),
pound: anticipation (0.04025352), anger (0.05100116), disgust (0.2643856),
encourage: anger (0.043621052), disgust (0.5725224),
overseas: anticipation (0.9381951),
trade: anticipation (0.6550689), trust (0.008105941), joy (0.017890554),
story: anticipation (0.47561857), surprise (0.09895787),

HASHTAGS: [Swindon]
swindon: anger (0.6567255),

- - - Tweet Emotional Classification - - -
Anger: 0.7678637
Anticipation: 3.030706
Disgust: 1.5862328
Fear: 0.9018761
Joy: 1.2422934
Sadness: 1.6105117
Surprise: 0.43931478
Trust: 4.1003957
```

Figura 53: *Tweet* de exemplo da análise actual, com o modelo de classificação adaptado ao *Twitter*

Um erro notável é a classificação de *links* e *hashtags* contidos no texto como substantivos (sigla NN), que adiciona não só palavras desnecessárias à procura nos léxicos, como pedidos extra ao *WordNet* na procura de sinónimos. Um das possíveis soluções é um módulo de “*POS Tagging*” (Derczynski et al., 2013) de uma ferramenta de extracção de informação de *tweets*, chamada “*TwitIE*” (Bontcheva et al., 2013), desenvolvida na Universidade de Sheffield. Este módulo foi desenvolvido para ser utilizado pela ferramenta de *parsing* de Stanford, permitindo assim uma classificação mais adequada com o programa já implementado. Ao realizar um pequeno teste para avaliar a classificação (Figura 53), comprova-se a eficácia no contexto das redes sociais, reconhecendo efectivamente os termos usados e distinguindo-os com as siglas “HT” para *hashtags*, “URL” para *links*, e “USR” para utilizadores. Contudo, verifica-se um atraso significativo no processo de classificação: apesar da classificação ser mais acertada e diminuir o número de pedidos de sinónimos ao *WordNet*, o *parsing* e a categorização de *tweets* demoram entre 2 a 5 segundos, consoante o número de palavras do texto, o que resulta numa média de 0,3 *tweets* por segundo. A decisão do modelo a utilizar está dependente do desempenho do mapeamento sonoro, que poderá beneficiar mais da rapidez de recepção de variáveis.

5 MAPEAMENTO MUSICAL

Estudos sobre a expressividade na música

Parametrização e processo de mapeamento

5 MAPEAMENTO MUSICAL

O carácter musical pretendido para esta sonificação exigiu pensar de que forma as oito emoções do modelo de Plutchik podiam ser mapeadas musicalmente, ou seja, que parâmetros da notação musical convencional e respectivos valores podem transmitir cada emoção. Estes factores incluem valores desde o tempo, tonalidade, intensidade, ritmo, modos harmónicos a dinâmica melódica (intervalos, escalas). Foi preciso, para esta associação, perceber esta dimensão expressiva da música, e o que já foi estudado sobre a ligação destes parâmetros a uma associação afectiva.

5.1 Estudos sobre a expressividade da música

As qualidades expressivas da música têm sido alvo de discussão por parte de filósofos e teóricos da área da música desde a Antiguidade (Gabrielsson & Lindström, 2010). A associação de emoções a acordes maiores e menores remonta a 1558, onde o teórico Gioseffo Zarlino relata que os acordes que contêm uma terceira maior soam mais alegres e otimistas, ao contrário dos que contêm uma terceira menor, que soam tristes (Aldwell & Schachter, 2002). As primeiras investigações empíricas descritas remontam aos finais do séc. XIX, realizadas por Gilman (1891, 1892) e Downey (1897), que procuraram estudar a expressividade musical através da percepção de ouvintes de concertos de música clássica (Gabrielsson & Lindström, 2010). Em 1936, Kate Hevner realizou uma série de estudos dos elementos expressivos da música, associando uma lista de adjetivos a parâmetros musicais, como modos maiores / menores, harmonias consonantes / dissonantes e ritmos firmes / fluidos. Os resultados determinaram uma tendência nas associações, revelando uma natureza emocional e universal das formas musicais.

Tabela 5: Associação das 8 emoções de Plutchik (2001) a termos dos estudos de Gabrielsson & Lindström (2010)

TRUST	—————>	<i>tenderness, softness, carefree, peaceful/peace, delicate, tranquil, serene, less tension</i>
JOY	—————>	<i>happiness/happy, gaiety, positive, pleasantness, less tension, joyful melodies</i>
SURPRISE	—————>	-
ANTICIPATION	—————>	<i>activity, energy, agitation, exciting/excitement, higher tension, tension, dynamism</i>
SADNESS	—————>	<i>melancholy, longing, sad</i>
FEAR	—————>	<i>tension, displeasing, uneasy, increased tension</i>
ANGER	—————>	<i>displeasing, tension, higher tension, angry melodies, aggressiveness</i>
DISGUST	—————>	<i>boredom, unpleasantness/unpleasant, dull melodies</i>

Gabrielsson e Lindström (2010) reviram mais de 100 estudos realizados deste então, que utilizam métodos variados: desde a já referida descrição da expressão percebida à análise de estruturas musicais, com o contributo de teóricos e profissionais ou o uso de aparelhos para medir as propriedades acústicas. Na tentativa de produzir um possível mapeamento, estudou-se a tabela de levantamento de resultados de estudos de Gabrielsson e Lindström (2010), de forma a perceber que parâmetros poderiam ter interesse e influência na categorização e distinção das oito emoções. No Apêndice A (pp. 165), encontra-se uma adaptação da tabela destes autores, com associações de cada parâmetro às oito emoções de Plutchik. Em diversos casos, como os estudos utilizam outros modelos ou adjetivos diferentes na caracterização emocional, associaram-se emoções ou adjetivos semelhantes / relacionados com cada uma das emoções, de forma a conseguir uma tabela mais completa e que permitisse resultados mais conclusivos (Tabela 5).

As emoções foram ordenadas segundo a associação positiva / negativa (Figura 54): a alegria e a confiança são consideradas positivas, ao contrário da tristeza, do medo, da raiva e da repulsa. A surpresa e a antecipação foram consideradas como neutras, pois permitem as duas valências: uma surpresa pode originar uma reacção tanto positiva como negativa.



Figura 54: Esquema de associação das emoções a uma classificação positiva / negativa

A tabela (Apêndice A, pp. 165) inclui 16 parâmetros musicais:

1. Envolvente (“*envelope amplitude*”): referente ao tipo de ataque, decaimento, podendo ser rápido (“*sharp*”) ou lento (“*round*”);

2. Articulação: ligado à *performance* musical, caracteriza-se pela forma como uma nota é tocada, e a transição entre várias: *staccato* com notas mais picadas e encurtadas, *legato* com as notas interligadas;

3. Harmonia: consonante ou dissonante, que fornece estabilidade ou instabilidade;

4. Intervalos:

4.1 Harmónicos: referentes a frequências agudas ou graves;

4.2 Melódicos: referentes a intervalos, onde “2m” equivale ao intervalo de 2ª menor (meio tom), “2M” ao de 2ª maior (1 tom), “3m” ao de 3ª menor (1,5 tons), “3M” ao de 3ª Maior (2 tons), “4P” ao de 4ª perfeita (2,5 tons), 4AUG ao de 4ª aumentada, etc.

5. Intensidade (“*loudness*”): referente a um som forte ou fraco;

6. Variação da intensidade: referente à quantidade e rapidez da variação entre sons fortes e fracos;

7. Melodia:

7.1 Extensão: alcance das notas tocadas;

7.2 Direcção: se a melodia é ascendente ou descendente;

7.3 Movimentação: se a melodia se desenvolve de tom em tom (“*stepwise motion*”) ou inclui intervalos maiores (“*intervallic leaps*”);

8. Distribuição de intervalos na melodia: tipos de intervalo inseridos na melodia;

9. Modo: referente ao modo maior ou menor, consoante a 3ª do acorde;

10. Pausas: localização e percepção de pausas: antes ou depois de uma resolução tonal (na tónica) (“*after tonal closure*”);

11. Frequência:

11.1 Contorno: direcção da variação da frequência;

11.2 Nível: referente a sons agudos ou graves;

11.3 Variação: referente à quantidade de variação entre sons de diversas frequências;

12. Ritmo: riqueza e informação rítmica associadas, que traduz ou não um movimento marcado e recorrente

13. Tempo: pulsação adjacente à música, que define a duração de um tempo na música;

14. Timbre: define a “cor” do som, e o instrumento associado, que se distingue pelo conteúdo harmónico;

15. Tonalidade: tom central de uma música, com uma música a ser construída (ou não) em torno de uma determinada tonalidade;

16. Estrutura musical: influência e combinação de vários factores.

Os parâmetros com efeitos emocionais mais distintos revelaram-se no timbre, intensidade / dinâmica, e em variáveis de movimento, nomeadamente o tempo e a velocidade. Os restantes revelaram-se mais complexos e subjectivos de categorizar, mais dependentes do contexto geral. É escassa a investigação de

factores mais complexos, nomeadamente a expressão de intervalos melódicos, dependentes de uma série de variáveis, desde o tempo, direcção (ascendente ou descendente) ao padrão melódico onde um intervalo se insere. A harmonia tem sido explorada essencialmente nos efeitos de consonâncias e dissonâncias, não havendo praticamente investigações sobre o tipo de acordes e progressões harmónicas que afectam a emoção associada (Gabrielsson & Lindström, 2010). Concluíram, assim, que apesar de ser evidente a influência de cada parâmetro musical, a expressão emocional raramente ou mesmo nunca é exclusivamente definida por um só factor, mas sim pela combinação de vários (Gabrielsson & Lindström, 2010).

5.2 Parametrização e processo de mapeamento

O mapeamento realizado teve como base o estudo de Gabrielsson e Lindström (2010) e a dicotomia consonância / dissonância. Stravinsky (1947) define consonância como “a combinação de vários tons numa unidade harmónica”, e a dissonância como uma “perturbação desta harmonia pela adição de tons estranhos a ela, (...) um elemento de transição (...) incompleto que tem de ser resolvido para satisfação do ouvido numa consonância perfeita”. Esta relação é inerente à percepção do ser humano, e um dos elementos-chave que caracteriza a sensação percebida. Representa, assim o principal desafio deste mapeamento, procurando definir as características que distinguem cada emoção e a probabilidade associada a cada factor.

O mapeamento foi organizado em três parâmetros principais: a melodia, o ritmo e a harmonia. A base destes três parâmetros é definida no início do programa, onde é escolhida uma nota inicial a partir das 12 notas constituintes da escala cromática (Figura 55). Além disso, é escolhida a oitava onde a composição é construída inicialmente, sendo a melodia tocada uma oitava acima. Desta forma, é definida a frequência da nota que serve como tónica do acorde referente ao 1º grau nas progressões harmónicas, possível nas oitavas 2, 3 e 4 da Figura 55, e nota inicial da melodia, nas oitavas 3, 4 e 5 respectivamente. Este distanciamento permite criar uma distinção entre as linhas harmónicas e as melódicas.

ROOT NOTES				OCTAVES	
C	24	F#	30	1	24
C#	25	G	31	2	36
D	26	G#	32	3	48
D#	27	A	33	4	60
E	28	A#	34	5	72
F	29	B	35	6	84
				7	96

Figura 55: Conjunto possível de oitavas e notas iniciais

5.2.1 Melodia

Para a melodia, cada nota é sorteada consoante uma série de probabilidades associadas a cada emoção, que definem o intervalo entre a nota anterior, o tipo de nota e a duração, ou seja, a figura rítmica associada.

MELODY // RHYTHM			MELODY // NOTES		
DISGUST	♪ 5%	♩ 45%	FEAR	Scale	25%
TRUST	♪ 30%	♩ 20%	DISGUST	Arpeggio	50%
SADNESS	♪ 25%	♩ 25%		Chromatism	25%
FEAR	♪ 40%	♩ 10%	ANGER	Scale	45%
JOY	♪ 60%	♩ 10%	ANTICIPATION	Arpeggio	40%
SURPRISE	♪ 25%	♩ 5%	SURPRISE	Chromatism	15%
ANTICIPATION	♪ 25%	♩ 5%	SADNESS	Scale	55%
ANGER			JOY	Arpeggio	45%
			TRUST	Chromatism	0%

Figura 56: Esquema de mapeamento da melodia a nível rítmico e de tipo de nota

A nota escolhida é referente a três tipos possíveis: modo, relativo a notas da escala correspondente à progressão harmónica; arpejo, relativo a notas pertencentes ao acorde actual; ou cromatismos (notas sensíveis), relativo a notas dissonantes que ocorrem meio tom abaixo ou acima de uma das notas do acorde. Os cromatismos viajam por tons fora da escala definida, e são geralmente utilizados como notas de transição, com a intenção de criar tensão antes de retornar à consonância, libertando essa tensão. Estas dissonâncias tendem a ocorrer “em notas breves e em sítios metricamente não acentuados, aparecendo normalmente em tempos fracos ou em partes fracas de um tempo” (Figura 57) (Aldwell & Schachter, 2003). Neste sistema, os cromatismos são tocados em tempos fracos, durante somente meio tempo, de forma a manter uma dissonância subtil e a sensação tonal. A *Confiança*, a *Alegria* e a *Tristeza*, por exemplo, inserem-se num espectro, definido por maior probabilidade de notas da escala escolhida, e uso nulo de cromatismos, em oposição ao *Medo*, com uma probabilidade de cromatismos a crescer para os 25% (Figura 56).

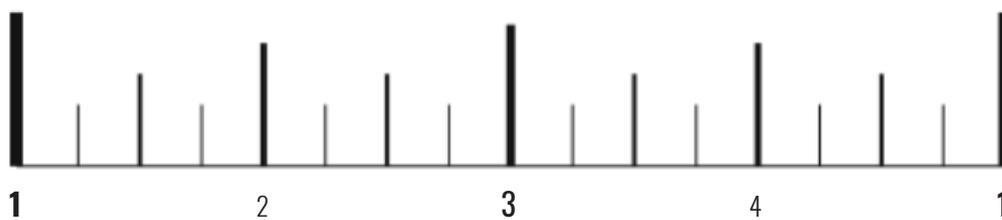


Figura 57: Esquema sobre relação de forças no ritmo harmónico (Abel, 2011)

O ritmo é explorado principalmente pela melodia, através das figuras rítmicas que definem a duração das notas e a respectiva actividade rítmica. Hevner (1936) concluiu que um tempo lento é associado a sons de carácter mais solene, triste e gentil, enquanto que sons alegres e vigorosos são geralmente associados a um tempo rápido. Esta estrutura foi assim traduzida pela diferenciação de quatro figuras rítmicas, por ordem decrescente de duração: semi-breve, mínima, semínima e colcheia. Ordenando as emoções pelo tipo de padrão rítmico, definiu-se, pelo seu carácter mais passivo, a *Confiança* e a *Repulsa* com uma maior tendência de produzir notas longas, em oposição à *Antecipação* e à *Raiva*, que tendem a produzir uma melodia mais rápida e tensa (Figura 56).

Tabela 6: Esquema de mapeamento da melodia a nível de intervalos

MELODY // INTERVALS

	ANTICIPATION / FEAR	ANGER	JOY / TRUST / SADNESS	SURPRISE	DISGUST
Tonic	0%	5%	5%	5%	20%
2nd	25%	30%	35%	10%	10%
3rd	25%	15%	30%	15%	10%
4th	10%	5%	5%	10%	10%
5th	25%	10%	10%	15%	10%
6h	5%	15%	5%	20%	15%
7th	5%	15%	5%	15%	15%
8th	5%	5%	5%	10%	10%

O intervalo melódico entre duas notas consecutivas também é definido por probabilidades associadas a cada emoção (Tabela 6). A movimentação da melodia

é um dos parâmetros na tabela de Gabrielsson e Lindström (2010), diferenciando o desenvolvimento da melodia por saltos graduais, de tom em tom (“*stepwise motion*”), ou por intervalos maiores. Emoções como a *Alegria* e a *Tristeza* têm mais probabilidade de produzir uma movimentação gradual, com intervalos de 2ª e 3ª que proporcionam estabilidade. No espectro oposto, a *Surpresa* tem maior probabilidade de intervalos de 6ª e 7ª, criando saltos repentinos e inesperados. As dissonâncias isoladas, mais prováveis neste espectro e sem uma ligação próxima à consonância, criam tensões sem um objectivo aparente (Aldwell & Schachter, 2003), o que intensifica o desconforto. Uma emoção como a *Confiança* tem, assim, uma maior probabilidade de produzir um som consonante, em oposição a *Repulsa*, que produz um som de forte dissonância.

MELODY // POSSIBLE SCALES

<i>Ionian</i>	1 2 3 4 5 6 7	<i>Major Pentatonic</i>	1 2 3 5 6
<i>Dorian</i>	1 2 b3 4 5 6 b7	<i>Minor Pentatonic</i>	1 3 4 5 7
<i>Phrygian</i>	1 b2 b3 4 5 b6 b7	<i>Major Harmonic</i>	1 2 3 4 #5 6 7
<i>Lydian</i>	1 2 3 #4 5 6 7	<i>Minor Harmonic</i>	1 2 b3 4 5 b6 7
<i>Mixolydian</i>	1 2 3 4 5 6 b7	<i>Phrygian Dominant</i>	1 b2 3 4 5 b6 b7
<i>Aeolian</i>	1 2 b3 4 5 b6 b7	<i>Mixolydian Augmented</i>	1 2 3 4 5 b6 b7
<i>Locrian</i>	1 b2 b3 4 b5 b6 b7	<i>Diminished</i>	1 2 b3 4 b5 b6 6 7
		<i>Whole Tone</i>	1 2 3 b5 b6 b7

Figura 58: Conjunto de escalas possíveis para a melodia

As escalas listadas (Figura 58), e sobre as quais a melodia é construída, estão associadas não só a determinadas progressões harmónicas, como aos acordes que as constituem, enquadrando-se no contexto musical que as mesmas definem. Para além da inserção nesse contexto, são caracterizadas por reflectir alguns contextos emocionais. Os sete modos da escala natural são diatónicos, que contêm cinco intervalos de tom e dois de meio tom, organizados por uma ordem particular. Desde o tempo da Grécia Antiga até finais do século XIX, a música ocidental era maioritariamente baseada em escalas diatónicas, tendo por isso uma sonoridade com algum grau de familiaridade (Aldwell & Schachter, 2003). Alguns exemplos incluem a escala maior (modo Jónio da escala natural), considerada a mais familiar (Waite, 1987), muito presente e enraizada na música europeia e normalmente caracterizada como “positiva, feliz, viva” (Aldwell & Schachter, 2003), “majestosa (...), jovial (...) e efusiva.” (Levine, 1995); a escala menor (modo Aeólio da escala

natural), em oposição à maior, considerada “negativa, triste” (Aldwell & Schachter, 2003), melancólica; ou o Lídio, IV grau da escala natural, que remete para algo de carácter sonhador, misterioso.

As restantes escalas escolhidas (2ª coluna da Figura 58) já se caracterizam com usos mais específicos e estilísticos. A escala pentatónica, muito comum no *jazz*, *blues*, no *pop* e com raízes na música tradicional asiática e africana, é uma escala com 5 notas apenas, o que “oferece à música uma sensação espacial maior, permitindo mais ar, espaço e luz através dos intervalos alargados” (Levine, 1995). É assim mais associada a progressões para *Alegria*, *Confiança*, *Antecipação* ou *Surpresa* (Apêndice C, pp. 169). Outro exemplo é a Menor Harmónica, que contém um intervalo de tom e meio entre a 6ª e a 7ª, originando uma falha na fluidez melódica (Aldwell & Schachter, 2003) e originando uma sonoridade particular. As escalas diminuta e de tons inteiros são consideradas escalas sintéticas. A primeira é composta por tons e meios tons de forma alternada e é caracterizada por uma sonoridade tensa e desconfortável. A segunda, organizada em tons inteiros, não tem centro tonal, originando uma sonoridade flutuante e instável (Waite, 1987).

5.2.2 Harmonia

A harmonia é, assim, o mais complexo dos três factores a parametrizar. É a harmonia que providencia o principal contexto não só musical, definindo as escalas da melodia e as progressões harmónicas, como o geral contexto emocional da sonoridade, tornando-se o ponto de referência da composição. A abordagem para distinguir cada emoção a nível harmónico foi baseada nos estudos de Hevner (1936) e na análise de Gabrielsson & Lindström (2010), que comparam modos maiores a menores e harmonias consonantes a dissonantes. Hevner concluiu que “é aparente que o uso de modos maiores e menores tem um significado claro na expressão de quatro diferentes estados de humor” (Hevner, 1936), com o modo maior fortemente associado a alegria, vivacidade e humor, e o menor a tristeza, agitação e repulsa. Uma harmonia simples e consonante é definida como feliz, graciosa, serena e sonhadora, associada a alegria e ternura, enquanto que uma harmonia complexa e dissonante é lida como triste e vigorosa, associada a agitação, medo e desconforto. Estas noções servem como base para a exploração das progressões e acordes constituintes.

Pela complexidade associada à harmonia, definiu-se um conjunto de 20 acordes de diferentes naturezas (Figura 59). Os acordes são a base da harmonia, assim como a sintaxe harmónica, termo que designa o arranjo e ordem de acordes

para formar progressões, que “é tão importante como a ordem das palavras para formar uma frase” (Aldwell & Schachter, 2003). Um acorde são várias notas tocadas em simultâneo, sendo o acorde mais fundamental da música a tríade maior, que deriva directamente da série de harmónicos. Os acordes servem então de matéria-prima para uma série de progressões que traduzem cada emoção, listadas no Apêndice B (pp. 168), assegurando a coerência da sequência harmónica e a sensação associada.

HARMONY // CHORDS

TRIADS			TETRACHORDS		
X	Major	1 3 5	X ^Δ	Major 7	1 3 5 7
X ⁻	Minor	1 b3 5	X ⁷	Dominant (7)	1 3 5 b7
X ^{DIM}	Diminished	1 b3 b5	X ⁻⁷	Minor 7	1 b3 5 b7
X ^{AUG}	Augmented	1 3 #5	X [∅]	Half-Diminished	1 b3 b5 b7
X ^{SUS4}	Suspended4	1 4 5	X ^o	Diminished	1 b3 b5 bb7(6)
X ^{SUS2}	Suspended2	1 2 5	X ^{Δ#5}	Augmented Major 7	1 3 #5 7
			X ^{ALT}	Augmented 7 (Altered)	1 3 #5 b7
			X ^{Δ#11}	Major 7#11 (Lydian chord)	1 3 #4 7
			X ^{7#11}	Lydian Dominant	1 3 #4 b7
			X ^{7SUS4}	7 Suspended4 add 9	1 4 b7 9
			X ^{6/9}	Major Six-Nine	1 3 6 9
			X ^{-Δ}	Minor Major 7	1 b3 5 7
			X ⁻⁶	Minor 6	1 b3 5 6
			X ^{-Δ#11}	Minor Major 7#11	1 b3 #4 7

Figura 59: Conjunto de acordes definidos para as progressões

Tal como as escalas, cada acorde remete para um dado contexto emocional, com o modo maior considerado alegre e o menor triste. A tríade maior é considerada o acorde-base da música Ocidental, do qual todos os outros derivam (Aldwell & Schachter, 2003). Além disso, é o acorde que oferece maior estabilidade, sendo por isso utilizado em várias progressões da *Confiança* e *Alegria*. Os acordes de 7^a, por sua vez, são compostos por uma tríade com a 7^a adicionada, que funciona como o elemento instável e dissonante que exige maior resolução (Aldwell & Schachter, 2003). O diminuto, com a quinta diminuta, soa atonal (Waite, 1987), abarcando algum desconforto e tensão. O acorde suspenso provoca suspensões harmónicas que nunca resolvem (Waite, 1987), mantendo a tensão e a expectativa de resolução. Para além das diferentes naturezas que afectam as notas

fundamentais do acorde, as extensões (9^a, 11^a e 13^a) são muito utilizadas no *jazz* moderno, adicionando cor e textura às harmonias (Waite, 1987).

Os acordes podem ser tocados em três *voicings* possíveis: no estado fundamental, com a tônica no baixo (uma oitava abaixo), com a tônica e a quinta no baixo, ou com a tônica e a sétima (terceira no caso das tríades) no baixo (Figura 60). Estes *voicings* foram escolhidos para manter uma sonoridade que expresse de forma clara a natureza dos acordes e a sua função harmónica.

HARMONY // CHORD VOICINGS

TRIADS			TETRACHORDS			
1	1	3 5	1	1	3 5 7	(9,
1 3	1	5	1 5	3	7	b9,
1 5	1	3	1 7	3	5	#9...)
↓ 1 oitava abaixo			↓ 1 oitava abaixo			

Figura 60: *Voicings* possíveis para os acordes

Os acordes são então os elementos que formam as progressões harmónicas, escolhidas de forma a reflectir o contexto emocional pretendido. Para cada emoção, é escolhida uma progressão da lista de progressões associadas à mesma, todas com igual probabilidade de escolha. Cada progressão é associada a um conjunto de escalas, listadas no Apêndice C (pp. 169), sobre o qual a melodia se desenvolve. As escalas (Figura 57) são construídas sobre os modos das escalas natural, pentatónica, harmónica e melódica.

Ligon (2001) refere que “a essência de uma progressão harmónica cria a estabilidade de um centro tonal, afasta-se formando vários graus de tensão, retornando de seguida e restabelecendo a primazia do tom original”. O 1º grau de uma progressão, ou seja, o tom central de uma composição, forma assim “o ponto de partida de onde os outros tons se movem, e a meta para o qual se direccionam”. É este jogo entre tensão e resolução que forma a base de qualquer composição, definindo a estrutura harmónica e, conseqüentemente, estabelecendo o impacto das emoções transmitidas.

HARMONY // EXAMPLES

ANTICIPATION

|| III⁻⁷ VI⁷ | II⁻⁷ V⁷ ||

JOY

|| I | VI⁻⁷ | IV^Δ | V⁷ I ||
|| I^{7SUS4} | I^{6/9} | I^{7SUS4} | I^Δ ||

SADNESS

|| I⁻⁷ | I⁻⁷ | II[∅] | III^{Δ#11} ||

ANGER

|| V^Δ | V⁷ | V^{7ALT} | V^Δ ||

DISGUST

|| I^{-Δ#11} | I^{-Δ#11} ||
|| I^{Δ#5} | VII[∅] | I^{Δ#5} ||

Figura 61: Exemplos de progressões harmônicas

A estrutura harmônica explora progressões familiares, como o primeiro exemplo maior da *Alegria*, ou o menor da *Tristeza*, listados na Figura 61. São exploradas combinações de acordes com diferentes naturezas, que constroem sequências que os interligam com a tensão associada ao grau que representam, e tiram partido das funções harmônicas. O segundo exemplo apresentado para a *Alegria* combina diferentes acordes maiores com o acorde suspenso, mantendo o mesmo grau. Desta forma, enquanto os acordes maiores oferecem estabilidade, o acorde suspenso acrescenta tensão e uma sonoridade mais aberta, formando a possível associação a alegria. Similarmente, o exemplo apresentado para a *Raiva* mantém também o mesmo grau ao longo da progressão, combinando acordes maiores com um acorde dominante e um alterado, naturezas que provocam momentos de elevada tensão e desconforto. O exemplo da *Antecipação* percorre vários graus sem nunca regressar ao I, grau de resolução máxima e que providencia estabilidade. É mantida, assim, a expectativa constante desse retorno e a tensão a ela associada. Os exemplos para a *Repulsa* são baseados na exploração de acordes com naturezas mais invulgares e naturalmente obscuras, como o Menor com a sétima maior e a 11^a aumentada (*Minor Major*), o diminuto e o Maior de 7^a aumentado, em dois estilos opostos: mantendo a progressão sempre no mesmo grau, originando aborrecimento; ou com intervalos de 6^a ou 7^a entre graus, para provocar desconforto e tensão. Este primeiro acorde referido é curiosamente denominado o "acorde do Hitchcock", por ser utilizado em filmes icónicos deste realizador, como *Vertigo* e *Psycho*, para criar uma atmosfera dissonante e perturbadora da tonalidade.

5.3 Timbre

Após a parametrização da melodia e da harmonia, surgiu a questão do timbre, e de como diferentes tipos poderiam afectar a emoção percebida. Foi então definida uma série de sons para cada uma das emoções, caracterizados por um timbre que se enquadrasse no estilo da música ambiente, de forma a evocar um som mais aberto e atmosférico, e que reflectisse igualmente a emoção.

Na prática, uma boa parte dos timbres pode funcionar para diversas realidades emocionais, consoante o contexto providenciado pela harmonia. Assim, o mesmo timbre pode ser associado a emoções opostas, e transmitir cada uma das emoções pela progressão harmónica tocada. Sonoridades usadas em canções infantis e brinquedos, de timbre frágil e frequências agudas que nos remetem para a infância, são um destes exemplos. Como é observado na cultura e herança musical da nossa sociedade, timbres como este podem ter uma natureza ambivalente e quase oposta, remetendo tanto para ambientes quentes e confortáveis (*Alegria* ou *Confiança*), como para situações de medos irracionais e terror (*Medo*). Tendo esta disparidade em conta, naturalmente existem timbres que se integram em emoções não tão díspares, como um som distorcido, que se enquadra tanto na *Raiva*, como no *Medo* ou na *Repulsa* (todas estas emoções de carga negativa). Estas sensações são ainda mais realçadas pela escolha do modo musical certo que compõe a melodia, detalhados no capítulo anterior sobre melodia. A adaptação tímbrica relaciona-se não só pelas características musicais, como pelo próprio contexto onde se insere.

Os sons foram assim escolhidos de forma a não serem exclusivos de uma só emoção, mas associados a várias. Várias questões técnicas de efeitos sonoros foram pensadas e acertadas para evidenciar várias emoções: sons com maiores distorções e ruído ligados à *Raiva* ou *Repulsa*; com mais *reverb* e *sustain* associados ao *Medo* ou à *Alegria*; com mais ataque associados à *Antecipação*, *Surpresa* e *Raiva*, entre outros.

6 SISTEMA

Estrutura

Visualização

6 SISTEMA

O sistema implementado inclui a sonificação, composta por duas fases: a primeira de recepção, análise e classificação emocional de *tweets* na linguagem de programação *Processing*; e a segunda de parametrização musical e composição do resultado sonoro. Além da sonificação, o sistema integra ainda uma visualização, que complementa os dados emocionais sonoros com uma componente visual que mostra os *tweets* analisados.

Alguns exemplos de composições resultantes foram publicados na plataforma *SoundCloud*, de forma a divulgar e a partilhar algumas das experiências obtidas¹, e encontram-se em anexo no CD.

1 Composições resultantes disponíveis em <https://soundcloud.com/mariana-seica/sets/music-emotions-sonification>

6.1 Estrutura

A sonificação foi construída com base na comunicação dinâmica entre três programas: um *sketch* em *Processing*, um *patcher* do Max e um *live set* do *Ableton Live*, com os dois primeiros a comunicarem através do protocolo *Open Sound Control* (Figura 62). O *sketch* em *Processing* começa por recolher *tweets* e classificá-los emocionalmente, tarefa que se mantém a correr no *background* durante todo o processo. Ao fim dos primeiros 10 segundos, este *sketch* envia *patcher* do Max a emoção proeminente dos *tweets* recolhidos até ao momento. Este inicia assim a composição referente àquela emoção, escolhendo a nota inicial de começo da melodia e o grau da harmonia e uma progressão da lista de progressões possíveis para aquela emoção. Esta progressão é repetida um número aleatório de vezes (entre uma a três), com o sistema a escolher de novo uma progressão no final de cada ciclo, de forma a manter a composição dinâmica e fluida.

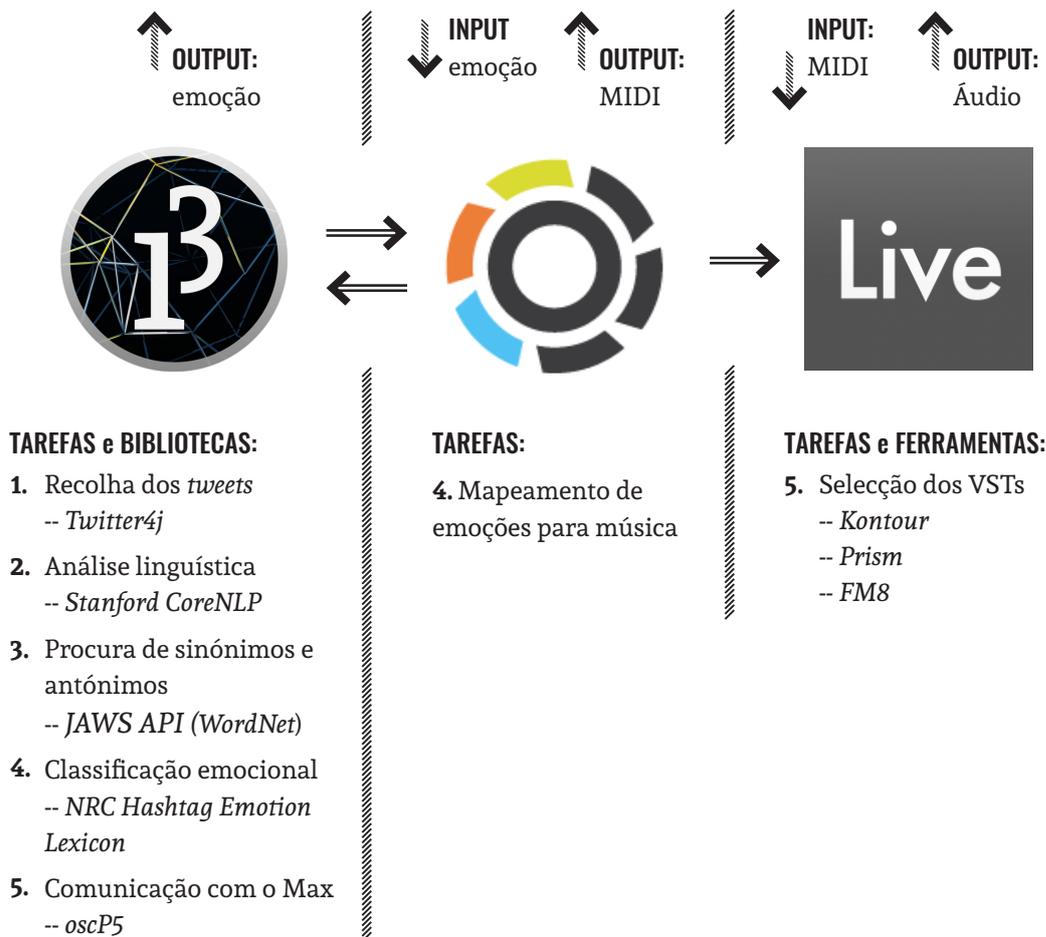


Figura 62: Esquema da comunicação entre os programas e ferramentas do sistema implementado, e respectivas tarefas

Para cada ciclo de uma progressão, o *sketch* em *Processing* guarda os valores das emoções extraídas de cada *tweet* e a sua soma. A complexidade musical torna impossível ter cada *tweet* a alterar parâmetros: resultaria numa variação de toda a dinâmica musical a quase cada segundo, o que criaria uma sonificação sem nexos e confusa. Desta forma, a composição é alterada ao fim de cada ciclo de uma progressão, em que o *patcher* do *Max* envia uma mensagem ao *sketch* do *Processing* a requisitar a próxima emoção. É assim mapeada aquela que obteve o valor mais elevado e que representa a tendência emocional dos *tweets* guardados no ciclo anterior. Ao receber a nova emoção, o *patcher* do *Max* adapta a composição aos parâmetros relativos à mesma. Para cada ciclo de uma progressão, é também escolhido um dos sons possíveis da lista de instrumentos definidos para cada emoção, que define o canal e o *VST* que o *Ableton Live* vai utilizar para interpretar os dados MIDI. O *patcher* do *Max* envia assim estes dados resultantes do mapeamento ao *Ableton Live*, de onde a composição é transmitida através de três *VSTs* da *framework* Reaktor 6, da *Native Instruments*: *Kontour* e *Prism* para a harmonia, transmitidos no canal 1 e 2, ; e *FM8* para a melodia, uma ferramenta de modulação em frequência transmitida no canal 3.

6.2 Visualização

O objectivo principal da sonificação é conseguir transmitir as emoções de forma independente, evidenciando as potencialidades do som na comunicação de informação, e a música na transmissão de qualidades emocionais. Contudo, foi implementada uma visualização simples de forma a complementar a sonificação, e que mostrasse a correlação entra a música ouvida e os *tweets* analisados.

A visualização é baseada no paradigma de bandos (*flocking*), implementado por Daniel Shiffman e que simula o comportamento de uma espécie que se movimenta em grupo (Figura 63). Consiste num conjunto de agentes que se movem seguindo três forças: separação, que mantém alguma distância entre os agentes evitando colisão; coesão, que direcciona o movimento de um agente em relação ao centro do bando, preservando a união do grupo; e alinhamento, que mantém um agente a movimentar-se na mesma direcção que os restantes elementos.

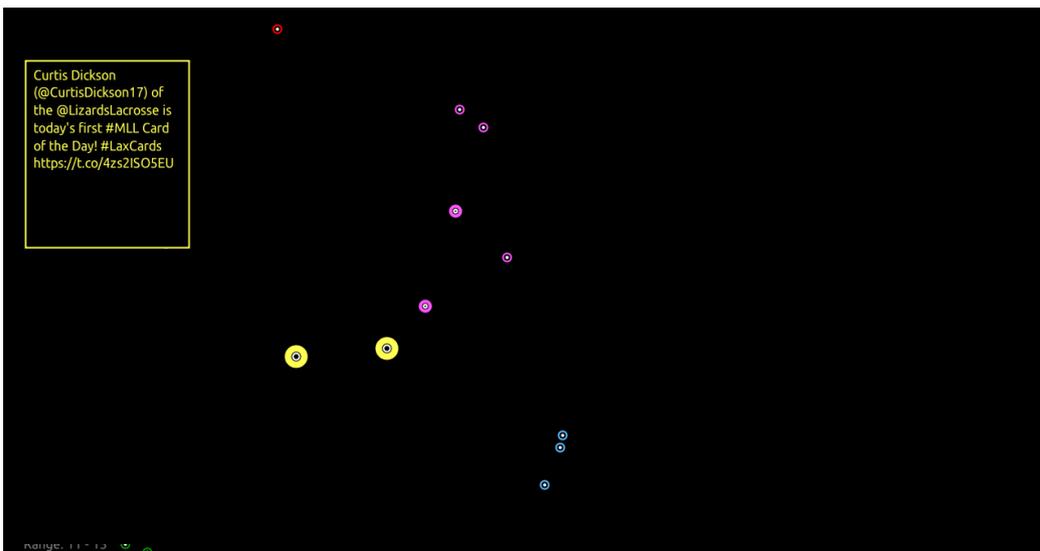


Figura 63: Screenshot da visualização (área total)

Cada *tweet* é um agente, representado por um círculo e pertencente a um bando. Foram implementados oito bandos, correspondentes às oito emoções do modelo de Plutchik (2001) e representados pelas cores associadas ao mesmo. Os *tweets* são recolhidos e adicionados ao bando que representa a emoção que obteve a maior classificação emocional desse *tweet* e que, por conseguinte, mais o caracteriza.

Para cada ciclo de progressões, os *tweets* que contribuíram para a emoção ouvida, quer tendo tido classificação máxima ou não, são destacados por um

aumento de tamanho do círculo e do contorno, com os restantes a desaparecerem. O texto referente a cada um deles é mostrado sucessivamente, com uma animação que transforma o círculo numa janela onde o texto é apresentado (Figuras 64 e 65). Após 4 segundos, a janela retorna ao formato circular, onde retoma o movimento como agente do bando. A mudança do ciclo de progressões inicia a morte dos círculos correspondentes ao ciclo anterior, que começam a movimentar-se errática e freneticamente, até começarem a diminuir de tamanho e a desaparecer.



Figura 64: Screenshot aproximado da visualização , com o filtro “trump” e com *tweet* de Raiva destacado

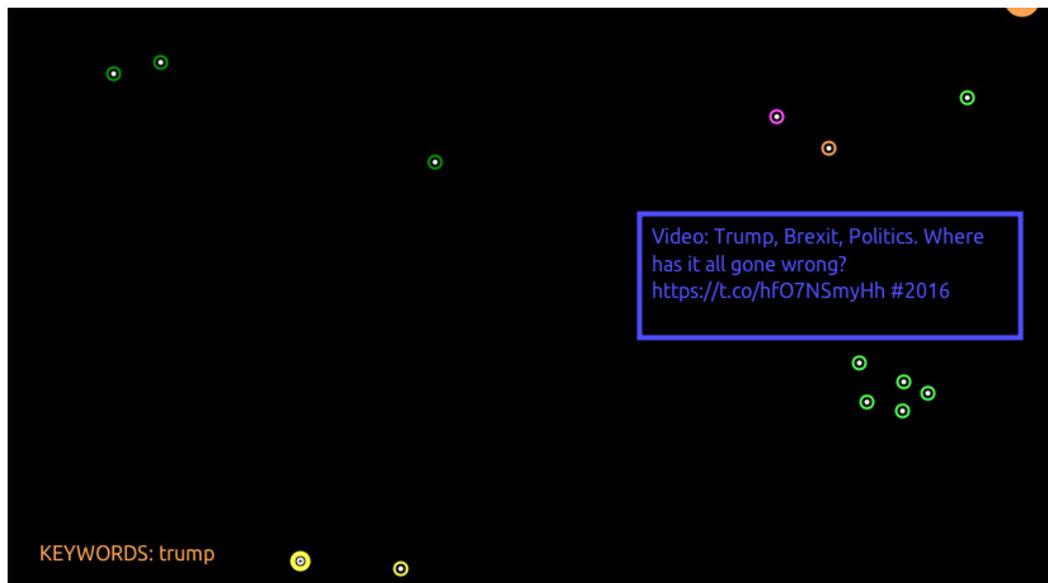


Figura 65: Screenshot aproximado da visualização , com o filtro “trump” e com *tweet* de Tristeza destacado

A visualização veio exigir ainda mais capacidade de processamento, sendo que, por vezes, há algumas quebras na fluidez de movimento e na própria sonificação. Assim sendo, manteve-se uma linha visual simples, de forma a manter o sistema a funcionar sem falhas. Uma hipótese pensada foi ter os valores dos canais da própria composição a influenciar o movimento das bolas no ecrã. Chegou a ser realizado um teste rápido, que atrasou significativamente o desempenho e gerava muitas quebras no movimento, acabando por se optar pela movimentação aleatória.

Esta questão do desempenho veio também influenciar a escolha do modelo de alteração sintáctica discutido no capítulo 4: apesar do “*TwitIE*” (Bontcheva et al., 2013) obter melhores resultados, também aumenta substancialmente o processamento e atrasa o funcionamento do sistema. Por isto, optou-se por manter o modelo de “*Pos Tagging*” da Stanford (Manning et al., 2014), que apesar de ser menos rigoroso ao trabalhar com dados do *Twitter*, permite manter a qualidade sonora e visual.

7 AVALIAÇÃO DO MAPEAMENTO

Recolha e análise de resultados
Reflexão

7 AVALIAÇÃO DO MAPEAMENTO

Para avaliar a eficácia do mapeamento implementado, foi preparado e divulgado um questionário, para perceber junto dos utilizadores a forma como os sons são percebidos.

O questionário é composto por 18 perguntas no total, divididas por dois conjuntos (Apêndice D, pp. 170). No primeiro (Figura 66), é pedido ao utilizador para ouvir uma composição, e avaliar a associação a uma dada emoção, ou seleccionar as emoções associadas a partir da lista das oito emoções de Plutchik (2001). No segundo (Figura 67), é pedido ao utilizador para ouvir duas composições e seleccionar a resposta que considera mais plausível. A lista de perguntas e emoções associadas estão listadas na Tabela 7.

Tabela 7: Lista de perguntas do questionário, com as emoções associadas e tipos de resposta

SET 1		
1	JOY	Association
2	FEAR	Select from list
3	ANGER	Association
4	SURPRISE	Select from list
5	TRUST	Select from list
6	SADNESS	Association
7	ANTICIPATION	Association
8	DISGUST	Association
9	JOY	Select from list
10	SURPRISE	Association
11	FEAR	Association
12	SADNESS	Select from list
13	DISGUST	Select from list
14	TRUST	Association

SET 2		
1	ANTICIPATION & SURPRISE	1st Anticipation, 2nd Surprise (Answer 1)
2	ANGER & FEAR	1st Anger, 2nd Fear (Answer 1)
3	JOY & TRUST	1st Joy, 2nd Trust (Answer 2)
4	ANGER & ANTICIPATION	1st Anger, 2nd Anticipation (Answer 1)



Figura 66: Screenshot da 1ª pergunta do questionário, como exemplo de perguntas do 1º set

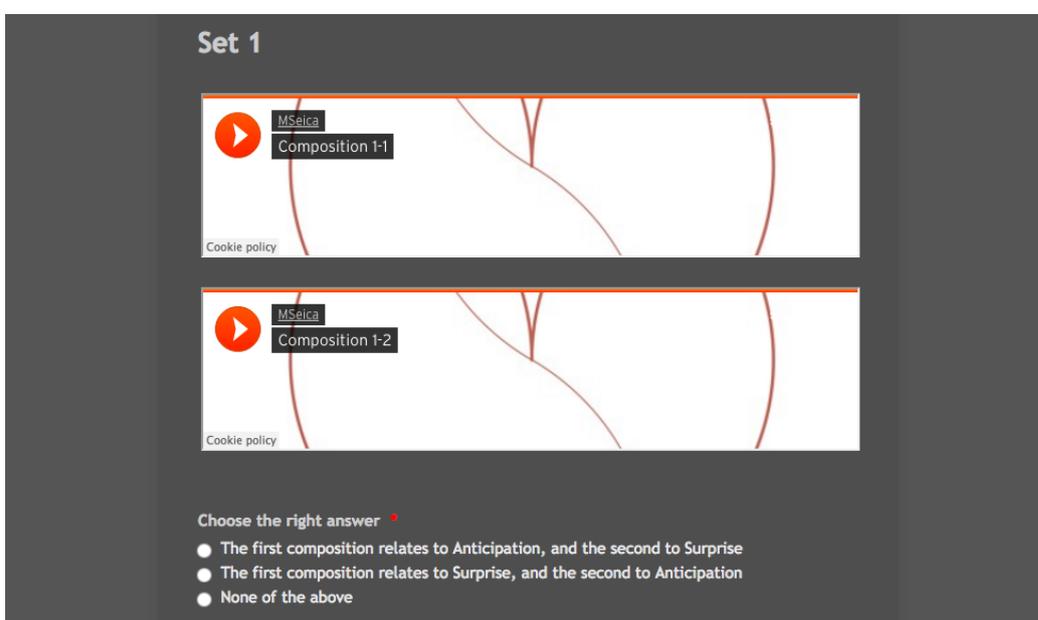


Figura 67: Screenshot da 1ª pergunta do questionário, como exemplo de perguntas do 2º set

Os pares de sons escolhidos foram definidos a partir do modelo de Plutchik (2001), seleccionando dois pares de emoções de espectros opostos, *Antecipação / Surpresa* e *Raiva / Medo* (modelos superiores da Figura 69), e dois pares de emoções adjacentes, *Alegria / Confiança* e *Raiva / Antecipação* (modelos inferiores da Figura 68). Estes pares foram também seleccionados pelo mapeamento implementado, que originou emoções de sonoridades semelhantes, mais passíveis de associações incorrectas.

No início do questionário, é ainda pedido ao utilizador para avaliar o seu conhecimento musical, para haver uma distinção no tipo de utilizadores e perceber a forma como a percepção musical pode contribuir para a percepção das emoções. A avaliação é feita dos números 1 ao 5, com o 1 equivalente a alguém

que nunca tenha tido qualquer tipo de treino de teoria musical ou instrumento, e considera-se “duro de ouvido”, e o 5 a profissionais da área da música, seja como professor, artista ou técnico, ou com algum curso superior na área da música ou som. O objectivo é, assim, perceber se os utilizadores relacionam as composições às emoções que representam, avaliando a parametrização melódica e harmónica pensada para cada emoção.

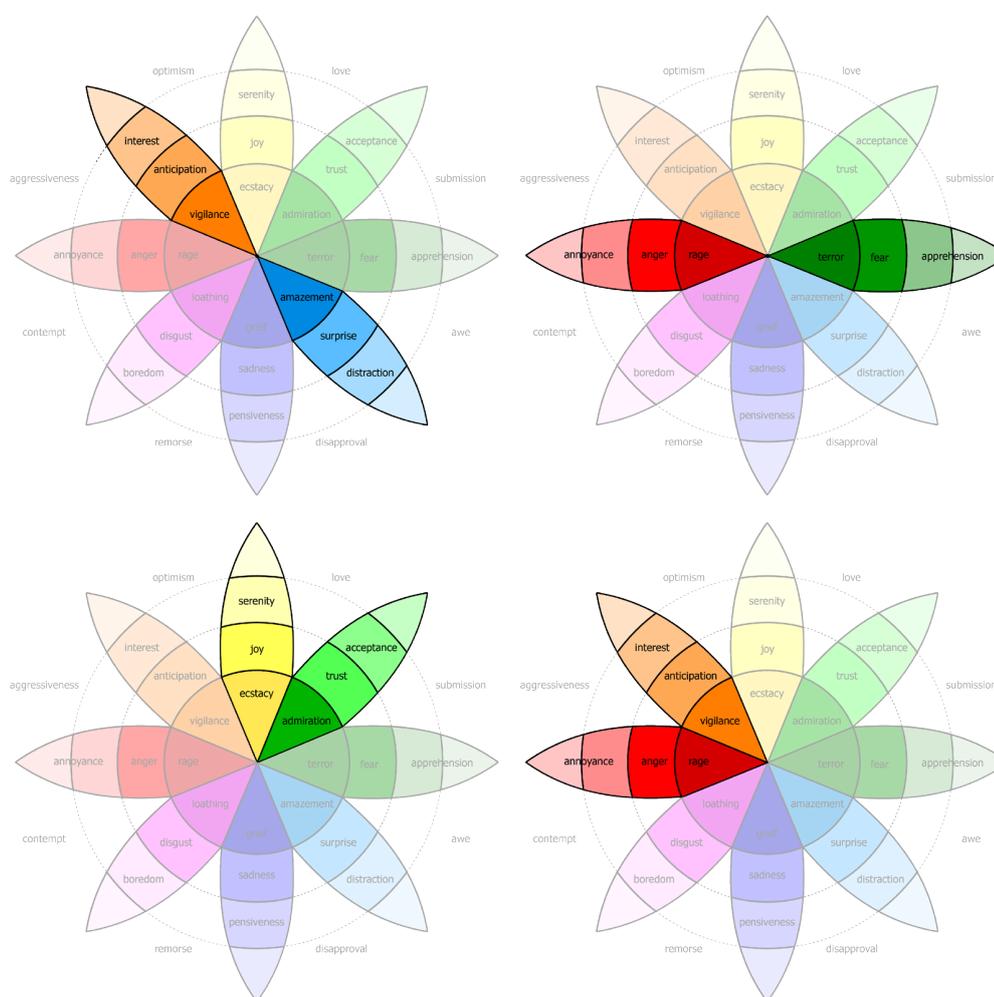


Figura 68: Pares de emoções escolhidos para o segundo conjunto de perguntas, a partir do modelo de Plutchik (2001)

O questionário foi construído e partilhado utilizando a plataforma *Jotform*¹. Este permite a criação de um questionário em ambiente *web* com integração do *Soundcloud*, onde as composições foram publicadas em modo privado.

1 Questionário disponível através de <https://eu.jotform.com/71083072110340>

7.1 Recolha dos resultados

O questionário foi divulgado no Laboratório de Visualização e Design Computacional (CDV) do Centro de Informática e Sistemas da Universidade de Coimbra, junto a pessoas conhecidas associadas ao ensino de Música em Coimbra, quer professores quer alunos, e por outras sem conhecimentos de teoria musical, através das redes sociais. Foram obtidas no total 100 respostas, que permitiram retirar algumas conclusões.

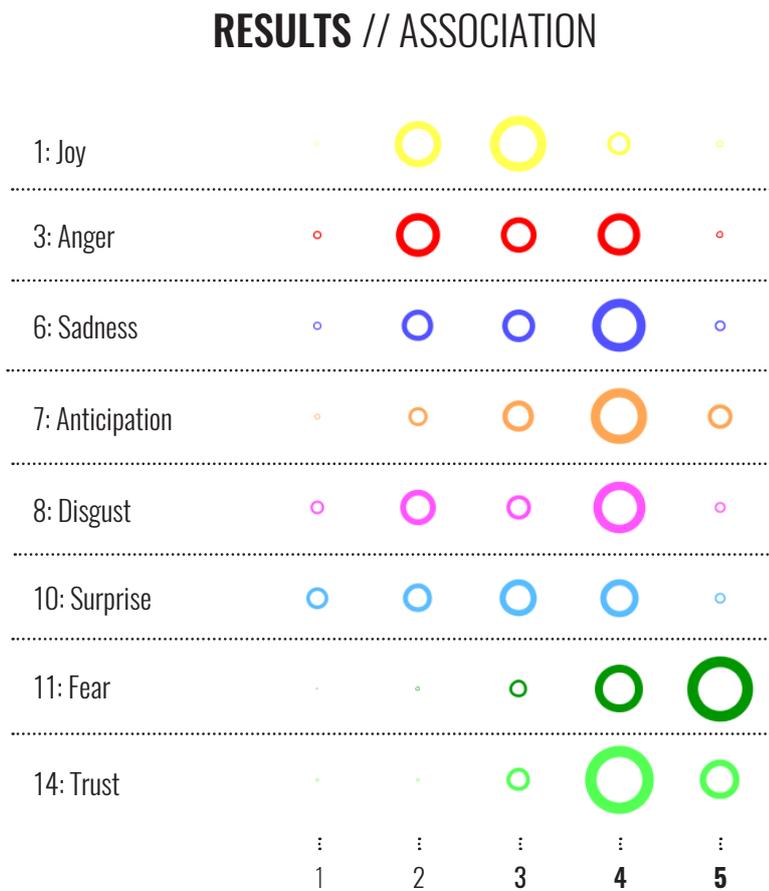


Figura 69: Gráfico dos resultados relativos às perguntas de associação

Relativamente às oito perguntas de associação directa a emoções (Figura 69), notam-se algumas cuja percepção não se revelou a pretendida: a composição de *Alegria*, por exemplo, logo na primeira pergunta, obteve a maior pontuação no valor neutro (3), com 41 participantes, e a segunda mais alta no valor anterior (2), com 34 participantes, que revelam que 75% não consideram uma associação clara. A de *Raiva* distribui-se entre os três valores centrais (2, 3 e 4). A *Tristeza* e a

Antecipação, apesar de terem algumas pontuações nos valores 2 e 3, obtiveram uma associação positiva, com 39 participantes a pontuar a *Tristeza* e 41 a *Antecipação* com o segundo valor mais alto (4). Estes valores demonstram que 50% dos participantes pontuaram a *Tristeza* com os dois valores mais altos (4 e 5), e 60% a *Antecipação*. A de *Repulsa* também obteve uma distribuição semelhante, com 38 participantes a pontuar 4, o que perfaz quase 50% nos dois valores mais elevados. A composição de *Surpresa* originou valores menos positivos, com 64 participantes distribuídos pelas três pontuações mais baixas, sendo a composição que obteve o valor mais alto da pontuação mais baixa, com 16 participantes. As duas últimas obtiveram os melhores resultados, com quase 85% dos utilizadores a pontuar a de *Medo* com os dois valores mais altos, e 80% a de *Confiança*.

RESULTS // SELECT FROM LIST

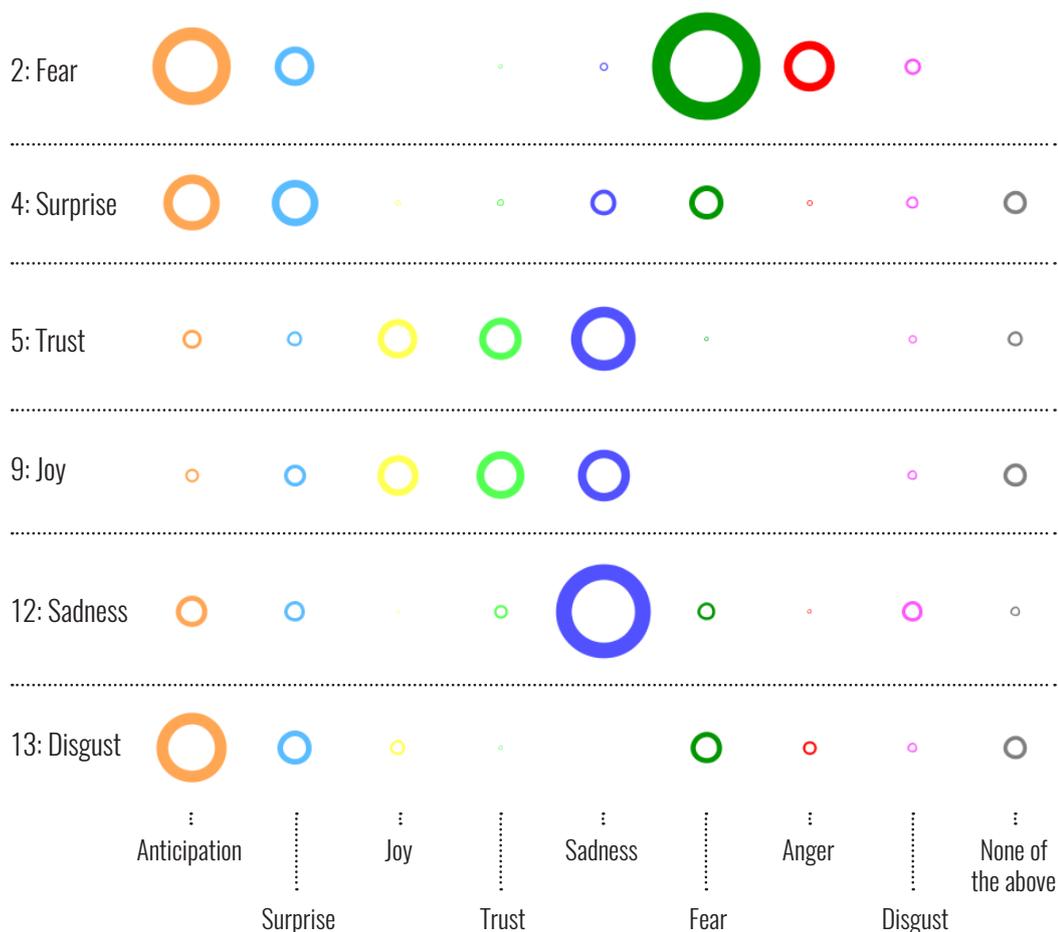


Figura 70: Gráfico dos resultados relativos às perguntas de selecção

As perguntas de selecção a partir da lista das 8 emoções (Figura 70) originaram maior discordância: *Alegria* e *Confiança* foram percebidas principalmente como *Tristeza*, emoção com maior número de pontuações nas duas. A *Alegria* na composição de *Confiança*, e vice-versa, também receberam valores substanciais, com cerca de 30 selecções. A *Surpresa* teve também uma distribuição variada, obtendo 25 associações a *Medo*, quase 20 a *Tristeza* e a nenhuma da lista, e 41 a *Antecipação*, obtendo a segunda associação mais alta, por 34 participantes, à *Surpresa*. A *Repulsa* foi a que obteve a menor associação, com apenas sete participantes, tendo sido muito caracterizada como *Antecipação*, por 50 participantes. A composição de *Tristeza* gerou o maior consenso, escolhida por quase 70 participantes e pouca distribuição. A de *Medo*, apesar de ter obtido um valor elevado de associação, com quase 80 participantes, gerou uma distribuição maior, com associações a *Antecipação* por 57 participantes, a *Surpresa* por quase 30 e a *Raiva* por 37.

RESULTS // COMPARISON

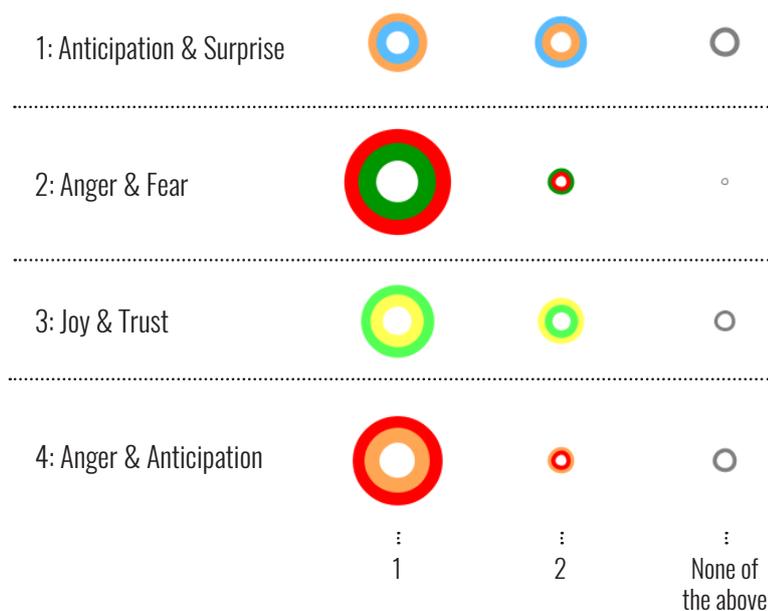


Figura 71: Gráfico dos resultados relativos ao segundo conjunto de perguntas (de comparação)

Os resultados do segundo conjunto de perguntas (Figura 71) revelaram alguns equívocos esperados, em emoções com sonoridade semelhante. O primeiro, que compara *Antecipação* a *Surpresa*, foi o que originou mais dúvidas, com um número de respostas próximo entre a 1ª e a 2ª hipóteses, e com a associação a nenhuma das

emoções dadas a atingir os 20% de respostas. A comparação entre *Raiva* e *Medo* e entre *Raiva* e *Antecipação* obtiveram até um resultado diferenciador e positivo, com cerca de 75% dos participantes a seleccionar a resposta correcta no primeiro conjunto, e 65% no segundo. Este último, contudo, obteve um número mais elevado de falta de associação, com a última hipótese a atingir quase os 20% de respostas. A comparação entre *Alegria* e *Confiança* gerou o pior resultado dos quatro conjuntos, somente com 33% dos participantes a seleccionar a resposta correcta.

MUSICAL KNOWLEDGE

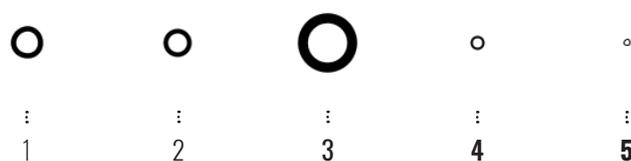


Figura 72: Gráfico do nível de conhecimento musical

A nível de conhecimentos musicais (Figura 72), a maior porção de participantes encontra-se no nível intermédio, com 42. Os valores inferiores obtiveram a maior distribuição, com 23 e 20 participantes nos níveis 1 e 2, respectivamente. Os superiores mantiveram-se somente nos 15%, havendo somente cinco utilizadores a seleccionar o nível máximo.

Relativamente à forma como o nível de conhecimento musical pode afectar a percepção das emoções, os resultados revelaram-se equilibrados (Figura 73). Optou-se por fazer o cálculo da média, desvio-padrão e mediana para o conjunto de participantes que, para cada pergunta, seleccionou a resposta correcta. Nas perguntas de selecção, foram escolhidos os participantes que escolheram a emoção correspondente, independentemente de terem seleccionado outras. Nas perguntas de selecção, reuniram-se somente os participantes que seleccionaram o nível máximo de resposta (1). No segundo *set* de perguntas, reuniram-se aqueles que optaram pela correspondência acertada.

Os três valores foram calculados de forma a poder perceber a distribuição dos dados e comparar alguma discrepância causada por valores extremos. Na sua generalidade, a média do nível dos participantes que escolheram a resposta correcta, para cada pergunta, encontra-se no nível intermédio. O único valor que se destaca é o da primeira pergunta do primeiro *set*, em que a média dos cinco participantes que pontuou o valor máximo chega ao nível 4. Os valores acabam por

AVERAGE // MUSICAL KNOWLEDGE // ANSWERS

	Média & Mediana	Média & Desvio-Padrão	Média // Desvio-Padrão // Mediana
1: Joy			4.00 ± 0.894 4
2: Fear			2.59 ± 1.097 3
3: Anger			2.20 ± 1.6 1
4: Surprise			2.79 ± 1.051 3
5: Trust			2.61 ± 1.037 3
6: Sadness			2.50 ± 1.323 3
7: Anticipation			2.56 ± 1.165 3
8: Disgust			3.13 ± 1.053 3
9: Joy			2.43 ± 1.202 2
10: Surprise			3.00 ± 0.866 3
11: Fear			2.50 ± 1.19 3
12: Sadness			2.61 ± 1.157 3
13: Disgust			2.86 ± 1.125 3
14: Trust			2.55 ± 1.162 3
15: Anticipation & Surprise			2.64 ± 1.042 3
16: Anger & Fear			2.45 ± 1.129 3
17: Joy & Trust			2.48 ± 1.131 3
18: Anger & Anticipation			2.34 ± 1.064 2

Figura 73: Gráfico de comparação entre a média/mediana e média/desvio-padrão do conhecimento musical dos participantes que responderam correctamente, no primeiro e segundo *set* de perguntas

estar simetricamente distribuídos em torno da média, com a mediana a igualar em quase todas as situações o valor arredondado da média. A única excepção é o da terceira pergunta do primeiro *set*, com a mediana a descer um valor face à média, e o desvio-padrão a obter o valor mais elevados das 18 questões, o que demonstra uma distribuição maior no nível de conhecimento associado.

Estes valores representam, na sua generalidade, que o nível de conhecimentos de teoria e prática musical não estão directamente associados com a percepção correcta. Claro que é preciso ter em conta que somente 15% dos participantes es enquadraram nos dois valores mais elevados. Por isso, talvez fosse benéfico testar directamente com uma comunidade mais alargada da área da música, para retirar mais conclusões sobre esta influência.

7.2 Reflexão

Os comentários submetidos no questionário (lista completa no Apêndice E, pp. 178), em conjunto com os resultados das perguntas, permitiram perceber algumas revisões necessárias no mapeamento de determinadas emoções (Figura 74).

A subjectividade é algo inerente a este projecto, pela natureza dos próprios dados a trabalhar: emoções. Assim, o facto de um participante ter “sentido que precisava de um maior alcance de emoções para exprimir o que sentia” é compreensível e expectável, pelo número de realidades que é possível associar a cada uma das oito emoções de Plutchik (2001). Essa subjectividade talvez tenha contribuído para a discrepância de resultados nas perguntas de selecção: o facto de ser dado ao participante a liberdade de escolha entre várias emoções suscita as realidades de cada uma e as possíveis semelhanças, contribuindo para a selecção de outras, além da suposta.

A *Confiança* foi uma das emoções comentadas, por ser uma categoria “difícil de descrever”, “vaga, sem a entender por completo, e a caracterizar mais como *Calma* e *Repouso*” e “um ambiente pacífico, quase como música de coro / igreja católica”. Os resultados revelaram alguma discrepância, associando-a por um lado a *Alegria* ou a *Tristeza*, mas por outro uma associação forte e de valor elevado. Outro participante referiu ainda a associação das composições de *Confiança* a “*Amor*, a calma e segurança, a alguém de bom humor num calmo dia de Primavera”. É curiosa a conexão a outras realidades e metáforas do dia-a-dia, onde as emoções são vividas. O comentário que refere a série *Twin Peaks* também revela essa ligação a ambientes e contextos conhecidos.

A *Alegria*, principalmente através dos resultados e de comentários em conversa, não presentes no questionários, foi das emoções mais questionadas e que obrigará a maior exploração futura. Nos resultados, obteve uma média de associação baixa, e foi confundida com emoções como *Tristeza* e *Confiança*, tendo originado na comparação com esta última um número maior de associações trocadas do que correctas. Além de um comentário positivo, em que a consideraram uma das emoções que obteve melhores resultados, foi caracterizada como sendo demasiado passiva e calma para algo que representa alegria. É de notar que, na pergunta de associação relativa à *Alegria*, a média do nível musical de quem pontuou o valor máximo foi de 4, o que poderá significar uma percepção diferente de quem tem um *background* musical mais alargado, nomeadamente do estilo de música ambiente, caracterizado por uma calma inerente. Contudo, é uma das emoções cuja exploração do ritmo será benéfica, e poderá transmitir uma alegria mais viva e presente.

O *Medo*, apesar de algumas dúvidas de associação com *Antecipação* e *Raiva* na pergunta de selecção, foi das emoções que obteve melhores resultados, com um valor elevado de associação por quase 85% dos utilizadores. Nos comentários, foi também assim referida, aliando-a a “*suspense*, desconfiança e nervos, como se algo mau estivesse para acontecer.” Além disso, especificaram “o uso de vibrato”, que aumenta a sonoridade desconcertante e “associa-a ligeiramente a um ambiente de ficção científica”.

Tabela 8: Lista de alguns comentários submetidos

RESULTS // EXAMPLES COMMENTS

“I felt like I needed a wider range of emotions in order to express more precisely what I was feeling. Also, it is hard to express emotion through MIDI. :)”

Parabéns, os sons passam mesmo emoções, mesmo que talvez não sejam as pretendidas. Boa sorte!

Well its not a suggestion, its just that i think that the “Trust” category is a little vague and i didn’t understand it fully. From the sounds i heard i think that some might be categorized as “Calm” or “Relax” (as in calm situations) but i had trouble associating them to “Trust”. But then again i am a newbie when it comes to sound.

Os sons são tão evocativos de Twin Peaks que a única forma de responder às perguntas era imaginar cenas da série relacionadas com as emoções em questão e ver a que personagens a música se adaptaria.

Un étude incroyable! Ça nous fait penser aux différentes émotions et aussi, à la diversité de mouvements (dérivés de chaque émotion) que nos corps peuvent assumer sous l’influence de la musique.

Trust is a hard feeling to describe in sound, but from what I noticed and connected while listening (I might be wrong, but this is what I felt), is that trust is connected with sounds that I would describe as being close to a christian like choir/organ music - but they are also used in other media to describe peaceful ambients, but the ideia might come from the same place. I think that connecting these sounds with culture is a bad ideia, since people from around the world will connect some sounds with different things.

Overall I think that the feelings associated to the sounds do get across really well, mainly joy, fear and anger. I really enjoyed the results.

Good luck on your thesis defense!!

A *Tristeza* também obteve resultados positivos, caracterizada como “melancolia”. Na pergunta de selecção, foi uma das emoções que gerou dúvida na *Alegria*, talvez pelo carácter mais passivo desta que contribui para um timbre e ritmo semelhantes, mesmo com acordes de naturezas distintas.

A *Raiva* suscitou algumas dúvidas na associação directa, mas foi distinguível quando comparada a outras emoções, nomeadamente *Medo* e *Antecipação*. Caracterizada como “maléfica, como se alguém estivesse a planear algo mau, não demonstra directamente raiva”, sendo talvez uma das emoções, tal como a *Alegria*, que ganhariam com um ritmo mais presente e estruturado.

A *Repulsa*, apesar de ter sido associada positivamente, gerou muitas dúvidas na pergunta de selecção, tendo sido escolhida somente por sete pessoas e caracterizada “não repulsa, mas talvez o começo de alguém a ficar zangado”. O mapeamento desta emoção foi pensado para ser ao mesmo tempo desconcertante e aborrecido, com pouca variação harmónica e melódica, sendo a variação existente para acordes de naturezas que provocam grande desconforto. Talvez este objectivo não esteja a ser transmitido, tornando-se uma composição difícil de perceber e caracterizar.

A *Antecipação* e a *Surpresa*, as emoções do espectro neutro, suscitaram também dúvidas. A primeira ainda obteve uma associação positiva, de 60% dos participantes, e distinção face à *Raiva* na comparação directa. Contudo, é confundida com a *Repulsa* e com o *Medo*, com um participante comentando o facto de “tal como na *Raiva*, parecer que alguém está a planear algo malicioso”. A *Surpresa*, apesar de ter obtido um comentário positivo, “como algo que não é alegre nem triste, com uma ligeira sensação de surpresa”, gerou muitas dúvidas, com uma associação pouco forte e discrepância com várias emoções, principalmente *Antecipação*. Talvez por serem as duas de carácter neutro, podendo expressar sonoridades quer de espectro positivo quer negativo, origem associação trocada entre as duas, quando comparadas.

Foi concluído que o ritmo, na sua generalidade, poderá influenciar positivamente a distinção entre várias emoções, originando sonoridades mais activas e com uma presença que permita transmitir de forma mais eficaz algumas emoções.

8

CONCLUSÃO

Perspectivas futuras

Considerações finais

8 CONCLUSÃO

Com este projecto, propôs-se desenvolver um mapeamento musical estruturado e complexo que conseguisse transmitir emoções através de uma sonificação musicalmente cativante. A implementação resultou na sonificação das oito emoções do modelo de Plutchik (2001), extraídas da rede social *Twitter* em tempo-real, e acompanhada por uma visualização dos *tweets* recolhidos e respectiva classificação emocional.

Existem sempre questões dentro do campo da sonificação musical que se mantêm irresolúveis, nomeadamente as questões culturais. O facto do mapeamento ter sido construído sobre as regras e sonoridade de música ocidental, torna-o falível noutras regiões. Winters e Gresham-Lancaster (2015) discutiram exactamente esta problemática: ao utilizar artefactos musicais de harmonia e melodia, nomeadamente naturezas de acordes e modos, “estes poderão ser muito eficazes para ouvintes ocidentais, mas não há garantias se funcionarão para ouvintes com outras bases”. Referem ainda um exemplo, em que a peça de Bernard Hermann, que acompanha a conhecida cena do chuveiro em *Psycho*, de Alfred Hitchcock, foi mostrada a indígenas de Kalahari, que associaram o som ao canto de um passáro. É, assim, clara a limitação cultural que o objecto resultante deste projecto encerra.

A questão cultural vem exacerbar a subjectividade das emoções, cujo estudo é “um dos mais confusos (e ainda abertos) capítulos da história da Psicologia” (Plutchik, 2001). Esta subjectividade vem da dificuldade de definir as próprias emoções, com Plutchik a caracterizá-las como “uma cadeia complexa de eventos interligados que começam com um estímulo e incluem sentimentos, mudanças psicológicas, impulsos para acção e comportamentos determinados”. Além disso, a complexidade dos dados interliga-se com a expressão musical pela capacidade de esta poder não só transmitir emoções, como induzi-las (Song et al., 2016). Dowling e Harwood, em 1986 (citado por Juslin & Västfjäll, 2008) referiram a problemática que se coloca há décadas e é o foco de numerosos estudos: “A música desperta fortes respostas emocionais nas pessoas, e queremos perceber porquê”. Desta forma, é feita a distinção entre a emoção percebida, definida como a emoção reconhecível em música (Gabrielsson, citado por Song et al., 2016), que exige um processamento intelectual, e a emoção induzida, experienciada pelo ouvinte (Gabrielsson, citado por Song et al., 2016) e que reflecte “a percepção introspectiva de mudanças psicofisiológicas, associadas a uma auto-regulação

emocional” (Khalifa e Thayer & Faith, citados por Song et al., 2016). A complexidade desta discussão advém da interacção entre o ouvinte e o objecto sonoro num determinado contexto (Song et al., 2016), dependente de variados factores individuais: desde a personalidade, estado de espírito, cultura e conhecimentos musicais do ouvinte (Bigand et al. e Kallinen e Ravaja, citado por Song et al., 2016), até ao próprio contexto em que o objecto sonoro é percebido. O estudo realizado por Song et al. (2016) demonstrou que estas diferenças individuais, nomeadamente a idade, género e treino musical não foram substanciais no julgamento emocional do ouvinte, ao contrário das preferências musicais, cuja habituação e conseqüente conforto influencia a percepção. Contudo, foi concluído que os ouvintes tipicamente sentem a emoção expressa pela música, sendo que a emoção percebida e a induzida se tornam inerentes uma à outra.

A relação entre emoções e música é, assim, uma área que exige uma grande exploração e detalhe, pela complexidade e subjectividade não só dos próprios dados, como do veículo de transmissão escolhido. O mapeamento implementado por este projecto já constituiu uma tentativa de desbravar esta relação na área da sonificação. Os resultados obtidos revelaram, na sua generalidade, uma percepção positiva das emoções transmitidas, sendo que muitas das questões levantadas se focam no contexto e preferência musical já referida anteriormente, que varia de ouvinte em ouvinte e influencia o processamento dos parâmetros musicais. Pensamos, assim, que os objectivos propostos foram alcançados, desenvolvendo um processo de sonificação pensado e estruturado que pode transmitir a natureza emocional de uma forma eficaz e compreensível ao utilizador.

8.1 Perspectivas futuras

Pela complexidade das diversas áreas abordadas por este projecto, há uma série de estruturas implementadas que poderão ser aprofundadas e melhoradas, de forma a aprimorar os dois passos fulcrais desta sonificação: a classificação emocional de texto, nomeadamente de *tweets*, e o mapeamento musical.

A nível de análise de emoções, o sistema implementado acaba por ser falível, devido à classificação de palavras por influência directa do léxico escolhido. Apesar de terem sido introduzidos alguns passos na análise linguística, nomeadamente de existência de negação na fase e procura de antónimo, revela um resultado aquém do expectável, não só pela falta de uma grande quantidade de palavras no léxico, mas pelo próprio tipo de linguagem pessoal e até sarcástica que se encontra nas redes sociais. Além disso, o léxico acaba por estar desactualizado, por ter sido construído entre Novembro e Dezembro de 2011.

Existem outras ferramentas, implementadas maioritariamente em *Python*, de análise linguística e de sentimentos. Este acaba por ser o meio que contém mais ferramentas de análise linguística, por ser “uma simples mas poderosa ferramenta de programação, com funcionalidades excelentes no processamento de dados linguísticos”, escolhida por ter “uma curva de aprendizagem pequena, (...) permitindo a reutilização fácil de dados e métodos e tornando-se uma linguagem dinâmica” (Bird, Klein & Loper, 2009). Durante o desenvolvimento desde projecto, descobriu-se um módulo do NLTK, chamado *TweetTokenizer*, específico para o tratamento de *tweets*. É uma das possíveis tarefas a exploração de ferramentas nesta linguagem, de forma a melhorar o sistema de análise de *tweets*.

Outra possibilidade será a alteração do modelo de emoções, utilizando o modelo bidimensional de Russell (1980). Segundo Eerola & Vuoskoski (citado por Song et al., 2016), cerca de um terço dos estudos sobre música e emoções nas últimas duas décadas utilizaram o modelo de Russell. Alguns dos estudos analisados estão neste campo, como o de Healey e Ramaswamy (2011), Winters e Wanderley (2013), Oliveira (2013), Song et al. (2016), Hermann, Yang e Yuki (2016) e de Kirke (2017). Esta adaptação exigiria alterações no mapeamento, pensado actualmente para as oito emoções de Plutchik. Contudo, poderia ser benéfico pelo uso das duas dimensões numéricas de valência e *arousal*, utilizados nestes trabalhos como base da análise de sentimentos.

A adaptação a várias linguagens poderá ser também uma funcionalidade a expandir, tendo também sido descobertas uma série de ferramentas alternativas. Ainda ligada à extracção de sentimentos, foi descoberta uma biblioteca desenvolvida pelo *MIT Media Laboratory* chamada *SenticNet* (Cambria et al., 2016),

que fornece a classificação emocional de conceitos (que podem ser expressões de uma ou múltiplas palavras) em quase 40 idiomas. Em *Python*, descobriram-se duas ferramentas, o *RDRPOSTagger* (Nguyen et al., 2014) e o *TreeTagger* (Schmid, 1995), que permitiriam a análise sintáctica em 13 e 20 idiomas, respectivamente, implementando o *parsing* e o *pos-tagging* no conteúdo original do *tweet* e assegurando resultados mais eficazes e correctos.

A tradução, apesar de potencialmente falível pelos erros sintácticos que abarca, pode ser uma hipótese a explorar futuramente, consoante o método utilizado para a classificação emocional. Foram descobertas algumas hipóteses, nomeadamente um módulo do *NLTK*, que contém directamente a ligação ao *Open Multilingual Wordnet* (Bond & Foster, 2013), um projecto que aglomera 34 *Wordnet* desenvolvidos para 25 idiomas distintos; e a API *BabelNet*, caracterizada como “uma vasta rede semântica multilingue, cujo foco é a integração de conhecimento lexical e enciclopédico do *WordNet* e *Wikipedia*, procurando aplicar traduções automáticas para enriquecer a informação lexical a todas as linguagens” (Navigli & Ponzetto, 2012).

O mapeamento musical pode ser expandido por diversos aspectos. Winters e Gresham-Lancaster (2015) sugerem que o foco e complexidade não devem ser tanto a nível orquestral (tímbrico-instrumental), mas sim a nível de ritmo, tempo e intensidade, conjugados com a articulação do som, nomeadamente o ataque e o decaimento. Esta opinião vem ao encontro da reflexão dos resultados, em que o ritmo se revelou um dos parâmetros prioritários a explorar, podendo ser estudadas variações de tempo (*bpm*), consoante a emoção, que resultam em composições mais rápidas ou mais curtas. Com isto, também poderão ser testadas outras fórmulas de compasso, explorando as diferenças entre os compassos binários, ternários, quaternários e outros. A nível de ritmo na melodia, será importante a inclusão de probabilidades de pausas, a adição de figuras rítmicas mais ou menos curtas e activas, e a inclusão da noção de contratempo, explorando não só a influência na percepção das emoções, mas também aprimorando o sistema de cromatismos e a forma como estes são tocados. Poderá também ser explorada a inclusão de elementos característicos da melodia, como motivos e células rítmicas, repetição, inversão, aumento e diminuição, entre outros. A nível de ritmo na harmonia, poderão ser exploradas progressões com maior actividade e mudança harmónica. A intensidade / volume do som também será um dos parâmetro prioritários a trabalhar, adaptando as emoções mais energéticas, como a *Alegria* e a *Antecipação*, a sons de maior intensidade, e vice-versa.

Relativamente à melodia, pensou-se na hipótese de mudança de registo a cada mudança de emoção, dependendo do espectro: se estiver a ser tocada uma

emoção positiva e a próxima for negativa, a melodia desce um determinado registo, e vice-versa. Este contraste talvez transmitisse de uma forma mais clara as diferentes cargas energéticas de cada emoção. A nível harmónico, a expansão no número de progressões seria uma prioridade, de forma a expandir o universo musical e tornar as composições mais dinâmicas. Relativamente às questões tímbricas, os sons escolhidos também poderão ser depurados, compondo algumas características técnicas, e expandidos.

A visualização acabou por ser uma experimentação de relativa simplicidade, por ser uma funcionalidade complementar implementada no tempo disponível. É, assim, um dos aspectos que pode ser melhorado e aprofundado, explorando outros objectos e estilos visuais que contribuam para a comunicação dos *tweets*, e a influência que a música pode ter na movimentação dos objectos.

Ao longo do desenvolvimento deste projecto, foram discutidas possíveis aplicações, expandindo a realidade do mapeamento não só ao *Twitter*, mas a outros formatos que providenciassem dados emocionais. As ideias percorrem áreas desde o cinema, utilizando as emoções contidas no guião e nas falas das personagens como dados para a criação da música que acompanha cada cena, até aos videojogos, gerando composições em tempo-real consoante a emoção associada à acção a decorrer. A multiplicidade de aplicações poderá ser explorada em conjunto com a aplicação de inteligência artificial, construindo um sistema de aprendizagem das regras musicais implementadas, e que consiga compôr as sonificações de forma eficaz e musicalmente cativante.

8.2 Considerações finais

Este projecto procurou explorar a multidisciplinariedade da Sonificação, e o contributo do uso de som na compreensão de dados variados, contribuindo para a interligação das diversas disciplinas e os benefícios do trabalho conjunto. O objectivo principal foi a implementação de uma parametrização musical com bases teóricas complexas, procurando implementar noções de teoria e prática musicais que permitissem a construção de uma sonificação eficaz e musicalmente coerente e interessante. Com este objectivo, procura-se uma nova forma de interpretar emoções, nomeadamente do Twitter, compreendendo através de música a partilha dos utilizadores nesta rede social.

Assim, esta dissertação focou-se na demonstração das potencialidades do som como meio de comunicação, construindo um objecto sonoro relevante não só para a área da Sonificação, mas para o próprio Design, normalmente focado na comunicação visual. O resultado revela-se como mais uma prova, dos cada vez mais numerosos trabalhos ligados à Sonificação, da possibilidade de elevar o som do estatuto de elemento complementar para principal na comunicação, expandindo o universo auditivo e musical.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

- Abel, M. F. (2011). What is 'groove'?. In M. F. Abel. *Groove: An Aesthetic of Measured Time*. Historical Materialism
- Aldwell, E., Schachter, C. (2003). *Harmony and Voice Leading*. Thomson-Schirmer
- Allan, P. (2015). Listen to Wikipedia Lets You Work to Ambient Sounds of Real-Time Edits. Retirado de <http://lifelife.com/listen-to-wikipedia-lets-you-work-to-ambient-sounds-of-1699834666>
- Baccianella, S., Esuli, A., Sebastiani, F. (2010). SentiWordNet 3.0: An Enhanced Lexical Resource for Sentiment Analysis and Opinion Mining. In *Proceedings of the International Conference on Language Resources and Evaluation*, Valletta, Malta
- Barrass, S., Vickers, P. (2011). Sonification Design and Aesthetics. In T. Hermann, A. Hunt, J. G. Neuhoff (Eds.), *The Sonification Handbook* (pp. 145-172), Berlin, Germany, Logos Verlag
- Ben-Tal, O., Berger, J. (2004). Creative Aspects of Sonification. *Leonardo*, 37(3), 229-232
- Bird, S., Klein, E., Loper E. (2009). *Natural Language Processing with Python* (1st ed). Califórnia, EUA, O'Reilly
- Bond, F., Foster, R. (2013). Linking and Extending an Open Multilingual Wordnet. In *Proceedings of the 51st Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*, Sofia, Bulgaria, pp. 1352-1362
- Bontcheva, K., Derczynski, L., Funk, A., Greenwood, M.A., Maynard, D., Aswani, N. (2013). TwitIE: An Open-Source Information Extraction Pipeline for Microblog Text. In *Proceedings of the International Conference on Recent Advances in Natural Language Processing*, Hissar, Bulgaria

- Bradley, M.M., & Lang, P.J. (1999). Affective norms for English words (ANEW): Stimuli, instruction manual and affective ratings. *Technical report C-1, The Center for Research in Psychophysiology, University of Florida*
- Brazil, E., Fernström, M. (2011). Auditory Icons. In T. Hermann, A. Hunt, J. G. Neuhoff (Eds.), *The Sonification Handbook* (pp. 325-338), Berlin, Germany, Logos Verlag
- Brooks, K. (2013). Quotidian Record: Artist Brian House Turns Tracking Data Into A Vinyl Music Experience. Retirado de http://www.huffingtonpost.com/2013/07/26/quotidien-record_n_3653658.html
- Brown, R. S. (1994). Herrmann Hitchcock and the Music of the Irrational. IN R. S. Brown, *Overtones and Undertones: Reading Film Music* (pp. 148-174). University of California Press
- Bulley, J., Jones, D. (2014). Living Symphonies. Retirado de <http://www.livingsymphonies.com/>
- Burk, P., Polansky, L., Repetto, D., Roberts, M., Rockmore, D. (2005). Music and Computers: A Theoretical and Historical Approach. K. C. Publishing, Retirado de <http://music.columbia.edu/cmcm/MusicAndComputers/>
- Burt, W. (2005). From Sonification to Sound Art and Music: The interaction of usefulness and aesthetics. Retirado de http://static1.1.sqspcdn.com/static/f/288545/5157879/1261635474357/Burt2005cFromSonificationtoSou_1
- Cambria, E., Livingstone, A., Hussain, A. (2012). The Hourglass of Emotions. In A. Esposito et al. (Eds.). *Cognitive Behavioural Systems* (pp. 144–157), 7403, Springer Berlin Heidelberg
- Cambria, E., Poria, S. , Bajpai, R., Schuller, B. (2016) SenticNet 4: A semantic resource for sentiment analysis based on conceptual primitives. In *Proceedings of the 26th International Conference on Computational Linguistics: Technical Papers*, Osaka, Japan, pp. 2666–2677

- Chen, D., Manning, C. (2014). A Fast and Accurate Dependency Parser Using Neural Networks. In *Proceedings of the Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing*, Doha, Qatar
- Chion, M. (1994). *Audio-Vision: Sound On Screen*. New York, Columbia University Press
- Cipriani, A., Giri, M. (2013). Introduction to Sound Synthesis. In A. Cipriani, M. Giri (Eds.), *Electronic Music and Sound Design: Theory and Practice with Max and MSP* (2nd ed., Vol. 1, pp. 1-47). Rome, Italy, ConTempoNet
- Clark, P. (2003, Setembro 17). I.B.M. 7090 - Music From Mathematics. Retirado de <http://wfmu.org/365/2003/260.shtml>
- Cohen, A. J. (2005). How music influences the interpretation of film and video: Approaches from experimental psychology. In R. A. Kendall & R. W. Savage (Eds.), *Perspectives in Systematic Musicology* (Vol. 12, pp. 15-36). Department of Ethnomusicology, University of California, Los Angeles
- Computer History Museum (2011). Computer Graphics, Music, and Art. Retirado de <http://www.computerhistory.org/revolution/computer-graphics-music-and-art/15>
- Computer History Museum (2011). Timeline of Computer History. Retirado de <http://www.computerhistory.org/timeline/>
- De Smedt, T. & Daelemans, W. (2012). Pattern for Python. *Journal of Machine Learning Research*, 13, 2031–2035
- Derczynski, L., Ritter, A., Clarke, S., Bontcheva, K. (2013). Twitter Part-of-Speech Tagging for All: Overcoming Sparse and Noisy Data. In *Proceedings of the International Conference on Recent Advances in Natural Language Processing*, Hissar Bulgaria
- Dombois, F., Eckel, G. (2011). Audification. In T. Hermann, A. Hunt, J. G. Neuhoff (Eds.), *The Sonification Handbook* (pp. 301-324), Berlin, Germany, Logos Verlag

- Fellbaum, C. (1998, ed.) *WordNet: An Electronic Lexical Database*. Cambridge, MA, MIT Press
- Foo, B. (2015). Two Trains. Retirado de <https://datadrivendj.com/tracks/subway>
- Foo, B. (2016). Rhapsody In Grey. Retirado de <https://datadrivendj.com/tracks/brain>
- Frazier, S. (2013). Sonification: Data like you've never heard before. Retirado de <https://earthzine.org/2013/07/23/sonification-data-like-youve-never-heard-before/>
- Gabrielsson, A., Lindström, E. (2010). The Role of Structure in the Musical Expression of Emotions. In P.N. Juslin, J. Sloboda (Eds.), *Handbook of Music and Emotion: Theory, Research, Applications*, New York, Oxford University Press
- Grond, F., Berger, J. (2011). Parameter Mapping Sonification. In T. Hermann, A. Hunt, J. G. Neuhoff (Eds.), *The Sonification Handbook* (pp. 363-398), Berlin, Germany, Logos Verlag
- Gustafsson, C. (2015). Sonic branding: A consumer-oriented literature review. *Journal of Brand Management*, 22(1), 20–37
- Han, B., Cook, P., Baldwin, T. (2012, July). Automatically Constructing a Normalisation Dictionary for Microblogs. In *Proceedings of the 2012 Joint Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing and Computational Natural Language Learning*, Jeju Island, Korea
- Hansen, C. H. (1951) Fundamentals of Acoustics. Retirado de http://www.who.int/occupational_health/publications/noise1.pdf
- Hansen, L. K., Arvidsson, A., Nielsen, F. Å., Colleoni, E., Etter, M. (2011). Good Friends, Bad News - Affect and Virality in Twitter. In *The International Workshop on Social Computing, Network, and Services*, Crete, Greece
- Harris, J., Kamvar, S. (2006). We Feel Fine. Retirado de <http://number27.org/wefeelfine>

- Hayward, C. (1992). Listening to the Earth Sing. In G. Kramer (Ed.), *Auditory Display: Sonification, Auditification and Auditory Interfaces* (pp. 369-404), Addison-Wesley, USA
- Healey, C., Ramaswamy, S. (2011). Tweet Sentiment Visualization. Retirado de https://www.csc2.ncsu.edu/faculty/healey/tweet_viz/tweet_app/
- Heuten, W., Wichmann, D., Boll, S. (2006). Interactive 3D Sonification for the Exploration of City Maps. In *The Nordic Human-Computer Interaction Conference*, Oslo, Norway
- Hermann, T. (2008). Taxonomy and Definitions for Sonification and Auditory Display. In *Proceedings of the 14th International Conference on Auditory Display*, Paris, France
- Hermann, T. (2010). Research on Sonification, Data Mining and Ambient Intelligence. Retirado de <http://sonification.de/>
- Hermann, T. (2011). Model-Based Sonification. In T. Hermann, A. Hunt, J. G. Neuhoff (Eds.), *The Sonification Handbook* (pp. 399-428), Berlin, Germany, Logos Verlag
- Hermann, T., Hunt, A. (2004). The Discipline of Interactive Sonification. In *Proceedings of the International Workshop on Interactive Sonification*, Bielefeld, Germany
- Hermann, T., Hunt, A., Neuhoff, J.G. (2011). Introduction. In T. Hermann, A. Hunt, J. G. Neuhoff (Eds.), *The Sonification Handbook* (pp. 1-6), Berlin, Germany, Logos Verlag
- Hermann, T., Nehls, A. V., Eitel F., Barri, T., Gammel, M. (2012). Tweetscapes - Real-time sonification of Twitter data stream for radio broadcasting. In *Proceedings of the 18th International Conference on Auditory Display*, Atlanta, GA, USA
- Hermann, T., Yang, J., & Nagai, Y. (2016). EmoSonics – Interactive Sound Interfaces for the Externalization of Emotions. Presented at the Audio Mostly 2016, Norrköping, Sweden

- Hevner, K. (1936). Experimental Studies of the Elements of Expression in Music. *The American Journal of Psychology*, 48(2), 246-268
- Hillenbrand, J. M. (2016). The Physics of Sound. Retirado de <https://homepages.wmich.edu/~hillenbr/206/ac.pdf>
- House, B. (2012). Quotidian Record. Retirado de http://brianhouse.net/works/quotidian_record/
- İleri, İ., Karagoz, P. (2016). Detecting User Emotions in Twitter through Collective Classification. In *Proceedings of the 8th International Joint Conference on Knowledge Discovery, Knowledge Engineering and Knowledge Management*, Porto, Portugal
- Internet Live Stats (2017). Twitter Usage Statistics. Retirado de <http://www.internetlivestats.com/twitter-statistics/>
- Julious, B. (2017). This Composer Analyzed 84,000 Words Spoken by Trump to Create an Acid House Track. Retirado de https://thump.vice.com/en_ca/article/alexis-kirke-donald-trump-acid-house
- Juslin, P., Västfjäll, D. (2008). Emotional responses to music: the need to consider underlying mechanisms. *Behavioral and Brain Sciences*, (31), 559–621
- Kirke, A. (2017). trumpTone - sonification of a President. Retirado de <https://www.youtube.com/watch?v=SodWlwwIeA8>
- Kirke, A. (2016). The Sonification of David Bowie's Career - Port Eliot Festival 2016. Retirado de <https://www.youtube.com/watch?v=9va6n2xpNuk>
- Kirke, A., Miranda, E., Chiaramonte, A., Troisi, A.R., Matthias, J., Radtke, J., Fry, N., McCabe, C, Bull, M. (2011). Cloud Chamber: A Performance Involving Real Time Two-Way Interaction between Subatomic Particles and Violinist. In *Proceedings of the International Computer Music Conference*, University of Huddersfield, United Kingdom

- Kong, L., Schneider, N., Swayamdipta, S., Bhatia, A., Dyer, C., Smith, N. A. (2015). A Dependency Parser for Tweets. In *Proceedings of Empirical Methods for Natural Language Processing*, Lisboa, Portugal
- Koto, F., Adriani, M (2015). HBE: Hashtag-Based Emotion Lexicons for Twitter Sentiment Analysis. In *Proceedings of the 7th Forum for Information Retrieval Evaluation*, Gandhinagar, India
- Koto, F., Adriani, M (2015, June). A Comparative Study on Twitter Sentiment Analysis: Which Features are Good?. In *The 20th International Conference on Applications of Natural Language To Information System*, Passau, Germany
- Kramer, G., Walker, B., Bonebright, T., Cook, P., Floweres. J.H., Miner, N., Neuhoff, J. (1998). Sonification Report: Status of the Field and Research Agenda. National Science Foundation. Retirado de <http://sonify.psych.gatech.edu/publications/pdfs/1999-NSF-Report.pdf>
- LaPorte, S., Hashemi, M. (2013) Listen to Wikipedia. Retirado de <http://listen.hatnote.com/>
- Levine, M. (1995). *The Jazz Theory Book*. Sher Music
- Ligon, B. (2001). *Jazz Theory Resources: Tonal, Harmonic, Melodic & Rhythmic Organization of Jazz*. Houston Publishing
- Liu, F., Weng, F., Wang, B., Liu, Y. (2011). Insertion, Deletion, or Substitution? Normalizing Text Messages without Pre-categorization nor Supervision. In *Proceedings of the 49th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*, pp. 71-76
- Liu, F., Weng, F., Jiang, X. (2012). A Broad-Coverage Normalization System for Social Media Language. In *Proceedings of the 50th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*, pp. 1035-1044
- Manning, C. D., Surdeanu, M., Bauer, J., Finkel, J., Bethard, S. J., McClosky, D. (2014). The Stanford CoreNLP Natural Language Processing Toolkit. In *Proceedings of the 52nd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics: System Demonstrations*, pp. 55-60

- McGee, R. (2009). Auditory Displays and Sonification: Introduction and Overview. Retirado de http://www.lifeorange.com/writing/Sonification_Auditory_Display.pdf
- McGookin, D., Brewster, S. (2011). Earcons. In T. Hermann, A. Hunt, J. G. Neuhoff (Eds.), *The Sonification Handbook* (pp. 339-361), Berlin, Germany, Logos Verlag
- Miller, G. M. (1995). WordNet: A Lexical Database for English. *Communications of the ACM*, 38(11), 39-41
- Milne, D., Paris, C., Christensen, H., Batterham, P. and O’Dea, B. (2015) We Feel: Taking the emotional pulse of the world. In *Proceedings of the 19th Triennial Congress of the International Ergonomics Association*, Melbourne, Australia
- Mohammad, Saif M. (2013). Crowdsourcing a Word-Emotion Association Lexicon. *Computational Intelligence*, 29 (3), 436-465
- Mohammad, Saif M. (2012). #Emotional Tweets. In *Proceedings of the First Joint Conference on Lexical and Computational Semantics*, Montreal, Canada
- Mohammad, Saif M., Kiritchenko, S. (2013). Using Hashtags to Capture Fine Emotion Categories from Tweets. *Computational Intelligence*, 31(2), 301-326
- Mohammad, Saif M., Turney, P. (2010). Emotions Evoked by Common Words and Phrases: Using Mechanical Turk to Create an Emotion Lexicon. In *Proceedings of the 11th Annual Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies*, LA, California
- Nagy, A., Samu, B. (2017). Emotion Sonification. Retirado de <http://www.binaura.net/stc/io/emotion-sonification>
- Nattiez, J. J. (1990). The Semiology of Musical Analysis. In J.J. Nattiez, *Music and discourse: Toward a semiology of music* (pp. 150-182). Princeton, N.J: Princeton University Press
- Navigli, R., Ponzetto, S. (2012). BabelNet: The Automatic Construction, Evaluation and Application of a Wide-Coverage Multilingual Semantic Network. *Artificial Intelligence*, 193, 217-250, Elsevier

- Nehls, A. V., Barri, T. (2012). Tweetscap.es. Retirado de <http://heavylistening.com/tweetscap.es/>
- Nguyen, D. Q., Nguyen, D. Q., Pham, D. D., Pham, S. B. (2014). RDRPOSTagger: A Ripple Down Rules-based Part-Of-Speech Tagger. In *Proceedings of the Demonstrations at the 14th Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics*, pp. 17-20
- Nishijima, C. (2015). Moodlight | The world's emotion, on your desk. Retirado de <https://www.kickstarter.com/projects/connornishijima/moodlight-a-wifi-enabled-window-to-the-worlds-emot>
- North, C. (2005). Information Visualization. *Handbook of Human Factors and Ergonomics* (3rd ed., pp. 1222-1245), John Wiley & Sons, Inc
- Oliveira, A. (2013). A Musical System for Emotional Expression. Tese de Doutoramento do Programa de Doutoramento em Ciências e Tecnologias da Informação, Universidade de Coimbra
- Owoputi, O., O'Connor, B., Dyer, C., Gimpel, K., Schneider, N., Smith, N. A. (2013). Improved Part-of-Speech Tagging for Online Conversational Text with Word Clusters. In *Proceedings of North American Chapter of the Association for Computational Linguistics*, Atlanta, USA
- Özdemir, C., Bergler, S. (2015). A Comparative Study of Different Sentiment Lexica for Sentiment Analysis of Tweets. In *Proceedings of the International Conference Recent Advances in Natural Language Processing*, Pennsylvania, Hissar, Bulgaria, pp. 488–496
- Pang, B., Lee, L., Vaithyanathan, S. (2002). Thumbs up? Sentiment Classification using Machine Learning Techniques. In *Proceedings of the Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing*, Pennsylvania, Philadelphia, PA, USA
- Pang, B., Lee, L. (2008). Opinion Mining and Sentiment Analysis. *Foundations and Trends in Information Retrieval*, 2(1-2), 1-125

- Park, S., Kim, S., Lee, S., Yeo, W. S. (2010), Online Map Interface for Creative and Interactive Music-Making, In *Proceedings of the 2010 Conference on New Interfaces for Musical Expression*, Sydney, Australia
- Plutchik, R. (2001) The nature of emotions. *American Scientist*, 89, 344-350
- Pope, D., Griffith, J. (2016). An Analysis of Online Twitter Sentiment Surrounding the European Refugee Crisis. In *Proceedings of the 8th International Joint Conference on Knowledge Discovery, Knowledge Engineering and Knowledge Management*, Porto, Portugal
- Poria, S., Gelbukh, A., Hussain, A., Das, D., Bandyopadhyay, S. (2013). Enhanced SenticNet with Affective Labels for Concept-based Opinion Mining. *IEEE Intelligent Systems*, 28(2), 31–38
- Quinn, M. (2001). Research set to music: the Climate Symphony and other sonifications of ice core, radar, DNA, seismic and solar wind data. In *Proceedings of the International Conference on Auditory Display*, Espoo, Finland
- Quinn, M. (2001). The Climate Symphony. Retirado de <http://www.drsl.com/climate.html>
- Quinton, M., McGregor, I., Benyon, D. (2016), Sonifying the Solar System. In *Proceedings of the International Conference on Auditory Display*, Canberra, Australia
- Rice-Oxley, M., Purcell, A., Ochagavia, E. (2016). 150 years of global warming in a minute-long symphony. Retirado de <https://www.theguardian.com/global/video/2016/nov/18/150-years-global-warming-minute-long-symphony-video>
- Roberts, K., Roach, M. A., Johnson, J., Guthrie, J., Harabagiu, S. M. (2012). EmpaTweet: Annotating and Detecting Emotions on Twitter. In *Proceedings of the Eight International Conference on Language Resources and Evaluation*, Istanbul, Turkey
- Rubin, B., Hansen, M. (2002). Listening Post. Retirado de https://www.academia.edu/3678902/The_Listening_Post_Ben_Rubin_and_Mark_Hansen e <https://vimeo.com/93514236>

- Russell, J. (1980). A Circumplex Model of Affect. *Journal of Personality and Social Psychology*, 39(6), 1161-1178
- Sá, A., Klima, J., Oliveira, S., Hawkey, J. (2008). Emotional Object. Retirado de <http://www.cada1.net/emotionalobject/index.html> e <http://www.cityarts.com/emotionalobject/>
- Schmid, H. (1995). Improvements in Part-of-Speech Tagging with an Application to German. In *Proceedings of the ACL SIGDAT-Workshop*. Dublin, Ireland
- Schubert, E., Ferguson, S., Farrar, N., McPherson, G. E. (2011). Sonification of Emotion I: Film Music. In *Proceedings of the 17th International Conference on Auditory Display*, Budapest, Hungary
- Serafin, S., Franinovic, K., Hermann, T., Lemaitre, G., Rinott, M., Rochesso, D. (2011). Sonic Interaction Design. In T. Hermann, A. Hunt, J. G. Neuhoff (Eds.), *The Sonification Handbook* (pp. 87-110), Berlin, Germany, Logos Verlag
- Silge, J. (2015) Ten Thousand Worlds - Joy to the World, and also Anticipation, Disgust, Surprise... Retirado de <http://juliasilge.com/blog/Ten-Thousand-Tweets/> & <http://juliasilge.com/blog/Joy-to-the-World/>
- Silver, K. (2013). Music as Medicine. Retirado de <http://www.abc.net.au/radionational/programs/allinthemind/5009818>
- Sloat, S. (2016). Global Warming Set to Song Sounds Like Earth's Funeral Dirge. Retirado de <https://www.inverse.com/article/24023-global-warming-one-minute-symphony-climate-change-the-guaridan>
- Smith, K. (2016). 44 Twitter Statistics for 2016. Retirado de <http://www.internetlivestats.com/twitter-statistics/>
- Solon, O. (2013). Data Analysis of David Bowie's career turned into musical "sonifications". Retirado de <http://www.wired.co.uk/article/david-bowie-sonification>
- Solon, O. (2011). How to Play a Duet for Violin and Radioactive Particles. Retirado de <https://www.wired.com/2011/01/duet-violin-radioactive-particles/>

- Song, Y., Dixon, S., Pearce, M. T., Halpern, A. R. (2016). Perceived and Induced Emotion Responses to Popular Music: Categorical and Dimensional Models. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 33 (4), 472-492
- Spell, B. (2007). Java API for WordNet Searching (JAWS). Retirado de <https://github.com/jaytaylor/jaws>
- Stone, M. (2009). Information Visualization: Challenge for the Humanities. Retirado de https://www.clir.org/pubs/resources/promoting-digital-scholarship-ii-clir-neh/stone11_11.pdf
- Strapparava, C., Valitutti, A. (2004). WordNet-Affect: an affective extension of WordNet. In *Proceedings of the 4th International Conference on Language Resources and Evaluation*, Lisbon, Portugal
- Stravinsky, I. (1947). *Poetics of Music in the Form of Six Lessons*. Cambridge, Harvard University Press, pp. 40
- Thelwall, M., Buckley, K., Paltoglou, G. Cai, D., & Kappas, A. (2010). Sentiment strength detection in short informal text. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 61(12), 2544–2558.
- Vicinanza, D. (2014). Voyager 1 & 2 Spacecraft Duet. Retirado de <http://www.geant.net/MediaCentreEvents/news/Pages/The-sound-of-space-discovery.aspx>
- Vicinanza, D. (2014). Data sonification -- from deep space research to improving lives through cancer research. Retirado de <https://www.youtube.com/watch?v=ndLkP-bNL1s>
- Vicinanza, D., Williams, G. (2016). Data Sonification: From Physics To Health. Retirado de <https://cds.cern.ch/record/2142696?ln=pt>
- Vicinanza, D., Williams, G. (2016) Where data sonification and sports medicine meet. Retirado de http://www.geant.org/News_and_Events/CONNECT/Pages/Where-data-sonification-and-sports-medicine-meet.aspx

- Vigani, A. (2012). Sonic Window #1 [2011] — A Real Time Sonification. In *Proceedings of the 18th International Conference on Auditory Display*, Atlanta, GA, USA
- Waite, B. (1987). *Modern Jazz Piano: A Study in Harmony and Improvisation*. Wise Publications (Book Sales Limited)
- Walker, B.N., Nees, M.A. (2011). Theory of Sonification. In T. Hermann, A. Hunt, J. G. Neuhoff (Eds.), *The Sonification Handbook* (pp. 9-40), Berlin, Germany, Logos Verlag
- Warriner, A.B., Kuperman, V., Brysbaert, M. (2013). Norms of valence, arousal, and dominance for 13,915 English lemmas. *Behavior Research Methods*, 45 (4), 1191–1207
- Whissell, C. (1989). Dictionary of Affect in Language. In R. Plutchik, H. Kellerman (Eds.), *Emotion: Theory, Research and Experience* (Vol. 4, pp. 113-131), Academic Press, NY
- Winters, R. Michael, Gresham-Lancaster, S. (2015, 13 de Março). *Sonification of Emotion* [Audio podcast]. Retirado de <https://creativdisturbance.org/podcast/mike-winters-sonification-of-emotion/>
- Winters, R. Michael, Wanderley, Marcelo M. (2013), Sonification of Emotion: Strategies for Continuous Display of Arousal and Valence. In *Proceedings of the 3rd International Conference of Music & Emotion (ICM3)*. Jyväskylä, Finland
- Winters, R. Michael, Hattwick, I., Wanderley, Marcelo M. (2013), Emotional Data in Music Performance: Two Environments for the Emotional Imaging Composer. In *Proceedings of the 3rd International Conference of Music & Emotion (ICM3)*. Jyväskylä, Finland
- Winters, R. Michael, Wanderley, Marcelo M. (2014), Sonification of Emotion: Strategies and results from the intersection with music. *Organised Sound*, (19), 60-69

APÊNDICES

Gabrielsson e Lindström (2010):
tradução e adaptação da tabela
de levantamento de resultados de
estudos

Lista de progressões utilizadas

Lista de escalas associadas a cada
progressão

Imagens do questionário

Comentários submetidos no
questionário

APÊNDICES

A Gabrielsson e Lindström (2010): tradução e adaptação da tabela de levantamento de resultados de estudos

	amplitude envelope	articulation	harmony	intervals	
				harmonic	melodic
TRUST	*tenderness (round)	*tenderness, softness (legato)	*tenderness simple, consonant		*carefree 4P, 5P, 6M, 7m, 8
JOY	*happiness sharp	*gaiety (staccato)	simple, consonant	*happy high-pitched	*positive 8
SURPRISE	sharp				
ANTICIPATION	*activity (sharp)	*activity, energy (staccato)	*agitation, exciting complex, dissonant	*activity high-pitched	*activity 5P
SADNESS	round	*melancholy, longing (legato)	complex, dissonant	*sad low-pitched	*melancholy 2m
FEAR	round	staccato	*tension complex, dissonant	*displeasing dissonant	
ANGER	sharp	staccato	complex, dissonant	*displeasing dissonant	
DISGUST	*boredom (round)		*unpleasantness complex, dissonant	*unpleasant dissonant	

	loudness	loudness variation	melodic		distribution intervals melodia	mode	pitch		
			(pitch) range	direction			motion	contour	level
TRUST	*peaceful, delicate soft	*peaceful few/no changes	*tranquil, delicate narrow	*serene ascending	*peacefulness stepwise + leaps	*serene major		*serene high	
JOY	loud	*happiness small, few/no changes	wide	*happiness ascending	*excitement intervallic leaps	major	*happiness up	high	*happiness large
SURPRISE							up		large
ANTICIPATION	*tension, excitement loud	*activity small		*tension ascending	*excitement intervallic leaps	*agitation minor		*activity high	*activity large
SADNESS	*melancholy soft	few/no changes	narrow	descending		minor	down	low	
FEAR	soft	large, rapid changes	wide	*tension ascending			up	high	small
ANGER	loud			*tension ascending		minor	up	high	small
DISGUST					*dull melodies stepwise motion	minor	*boredom down	*boredom low	small

	pause/rest	rhythm	tempo	timbre	tonality	musical form
TRUST	*less tension after tonal closure	*peaceful, serene regular /smooth, flowing / fluent	*serene, tenderness slow	*tenderness soft	*peaceful melodies tonal	*peace low complexity + average dynamism
JOY	*less tension after tonal closure	*happiness, joyful melodies regular /smooth, flowing / fluent, varied	fast	*happiness few harmonics	*joyful melodies tonal	low complexity + average dynamism
SURPRISE			fast	many harmonics		
ANTICIPATION	*higher tension after no tonal closure		*activity, excitement fast	*activity many harmonics		*increased tension repetition, condensation, sequential development
SADNESS		firm	slow	soft	chromatic	high complexity + low dynamism
FEAR		*uneasy irregular / rough	fast	many harmonics		*increased tension repetition, condensation, sequential development
ANGER	*higher tension after no tonal closure	complex	fast	many harmonics, sharp	*angry melodies atonal, chromatic	*aggressiveness high complexity + high dynamism
DISGUST			slow	many harmonics	*dull melodies tonal	

B Lista de progressões utilizadas

ANTICIPATION

- (1) || III⁻⁷ VI⁷ | II⁻⁷ V⁷ ||
- (2) || I^{Δ#11} VII[∅] | bVII⁷ bVI^{Δ#11} ||
- (3) || III^{SUS2} | I^{SUS2} | VI^{SUS2} V^{SUS2} |
| I^{SUS2} ||

SURPRISE

- (1) || I^{7SUS4} bII^{Δ#11} | bII^{Δ#11} ||
- (2) || I⁻⁷ II⁻⁶ ||
- (3) || I^{SUS2} | bV^{SUS2} | VII^{SUS2} ||

JOY

- (1) || IV | I | IV | I ||
- (2) || I^{7SUS4} | I^{6/9} | I^{7SUS4} | I^Δ ||
- (3) || I | VI⁻⁷ | IV^Δ | V⁷ I ||
- (4) || I | VI⁻⁷ | II⁻⁷ V⁷ | I ||
- (5) || II⁻⁷ | IV^Δ V⁷ | I ||

TRUST

- (1) || V | I | V | I ||
- (2) || IV^Δ | #IV[∅] | V^{7SUS4} V⁷ | I ||
- (3) || I^Δ | II⁻ | III⁻⁷ | I ||

SADNESS

- (1) || I⁻⁷ | bIII^{Δ#11} | III[∅] IV⁷ | IV⁻ ||
- (2) || I⁻⁷ | IV⁻⁷ | I⁻⁷ | V⁻⁷ IV⁻⁷ | I⁻⁷ ||
- (3) || II[∅] | V^{7ALT} | I⁻⁷ ||
- (4) || I⁻⁷ | bIV^{Δ#11} | IV⁻⁷ | V^{7ALT} ||
- (5) || I⁻⁷ | I⁻⁷ | II[∅] | III^{Δ#11} ||
- (6) || I⁻⁷ | III[∅] V^{7ALT} | I⁻ I^{-Δ} I⁻⁷ I⁻⁶ |
| bV^{Δ#11} | V[∅] | bII^{7ALT} | I⁻⁷ ||

FEAR

- (1) || I[∅] | I[∅] bII^{7#11} ||
- (2) || I^{Δ#5} bIII^{Δ#5} |
| bV^{7ALT} bV^{7ALT} bVI[∅] V^{7ALT} ||
- (3) || II[∅] | V^{7ALT} | I^{-Δ} ||

ANGER

- (1) || I⁷ | bII[∅] | I⁷ | bII[∅] |
| II⁷ II⁷ bIII[∅] III^{7ALT} ||
- (2) || V^Δ | V⁷ | V^{7ALT} | V^Δ ||
- (3) || I^{-Δ} | bII^{7ALT} | VII[∅] | IV[∅] | bIV[∅] ||

DISGUST

- (1) || I^{-Δ#11} | I^{-Δ#11} ||
- (2) || I^{7ALT} | I^{7ALT} ||
- (3) || I^{Δ#5} | I^{Δ#5} ||
- (4) || I^{Δ#5} | V^{7#11} | I^{Δ#5} ||
- (5) || I^{Δ#5} | VII[∅] | I^{Δ#5} ||
- (6) || I^{-Δ#11} | bVI^{7ALT} | I^{-Δ#11} ||

C Lista de escalas associadas a cada progressão

ANTICIPATION

- (1) Ionian (I), Major & Minor Pentatonic (V)
- (2) Major Pentatonic (I)
- (3) Ionian (I), Major Pentatonic (I e V)

SURPRISE

- (1) Major Pentatonic (I)
- (2) Minor Pentatonic (I)
- (3) Major Pentatonic (bV)

JOY

- (1) Ionian (I)
- (2) Major Pentatonic (I)
- (3) Ionian (I)
- (4) Ionian (I)
- (5) Ionian (I)

TRUST

- (1) Ionian (I)
- (2) Ionian (I), Major Pentatonic (I)
- (3) Ionian (I), Major Pentatonic (I)

SADNESS

- (1) Aeolian (I)
- (2) Dorian (I), Aeolian (I)
- (3) Aeolian (I), Minor Harmonic (I)
- (4) Aeolian (I), Minor Harmonic (I)
- (5) Phrygian (I), Minor Harmonic (I),
Phrygian Dominant (I)
- (6) Dorian (I), Aeolian (I)

FEAR

- (1) Locrian (I)
- (2) Major Harmonic (I), Minor Harmonic (VI)
- (3) Phrygian Dominant (V),
Minor Harmonic (I)

ANGER

- (1) Phrygian Dominant (I), Diminished (I),
Whole Tone (I)
- (2) Mixolydian Augmented (V)
- (3) Minor Harmonic (I), Diminished (I),
Whole Tone (I)

DISGUST

- (1) Diminished (I), Whole Tone (I)
- (2) Phrygian Dominant (I), Mixolydian
Augmented (I), Whole Tone (I)
- (3) Lydian Augmented (I)
- (4) Lydian Augmented (I), Whole Tone (V)
- (5) Lydian Augmented (I), Diminished (VII),
Whole Tone (VII)

D Imagens do questionário

89% 17 / 19 Required Fields Complete.

"Sonifying Twitter's emotions through music": Listening Test to evaluate the correlation between music and emotions

This research study, developed as a Master's degree thesis in Design and Multimedia at the University of Coimbra, has the main purpose of exploring the potential of music in conveying emotions, seeking new ways to transmit data extracted from Twitter through a melodic, harmonic and rhythmic composition. This form serves to evaluate the effectiveness of the system implemented.

You will be presented with a set of sounds, composed of a set of progressions and melodic lines. There will be two group of questions:

1. In the first, you will be asked to listen to the composition and answer a question. You will be asked either to rate the association with a given emotion, or to select which emotions you associate with it (multiple answers are allowed).
2. In the second, you will be asked to listen to two compositions, and through comparison, choose the answer you find true.

You can listen to the sounds as many times as necessary, in any order. It is also possible to go back and change a previous answer. This is a test based on personal perception, so answer calmly, without overthinking. It is recommended that you take the test in a quiet environment and use headphones to listen to the sounds.

CONSENT STATEMENT

This survey takes approximately 15 minutes to complete. By continuing, you declare that you have become aware of the purpose of this study and the contribution requested by participating voluntarily. By submitting your responses, you allow your data to be worked anonymously by the researchers.

Rate your musical knowledge *

1 2 3 4 5

You never had formal training in musical theory or a musical instrument, and you consider yourself "tone deaf"

You are a professional in the music field, either as a teacher, an artist or a technician, or have a music or sound degree

Page 1 of 5

Next

Example 1



How much do you associate this sound with "Joy" *

1 2 3 4 5

Worst ● ● ● ● ● Best

Example 2



Choose the emotion(s) associated with this sound (multiple answers allowed) *

- Anger
- Joy
- Anticipation
- Trust
- Sadness
- Disgust
- Fear
- Surprise
- None of the above

Example 3



How much do you associate this sound with "Anger" *

1 2 3 4 5

Worst ● ● ● ● ● Best

Example 4



MSeica
Sound 4

Cookie policy

Choose the emotion(s) associated with this sound (multiple answers allowed)

- Anticipation
- Joy
- Disgust
- Trust
- Sadness
- Surprise
- Fear
- Anger
- None of the above

Example 5



MSeica
Sound 5

Cookie policy

Choose the emotion(s) associated with this sound (multiple answers allowed)

- Joy
- Fear
- Disgust
- Sadness
- Surprise
- Trust
- Anger
- Anticipation
- None of the above

Example 6



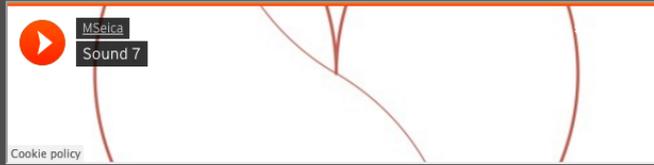
MSeica
Sound 6

Cookie policy

How much do you associate this sound with "Sadness"

1 2 3 4 5
Worst ● ● ● ● ● Best

Example 7



How much do you associate this sound with "Anticipation" ?

1 2 3 4 5
Worst ● ● ● ● ● Best

Page 2 of 5

Back

Next

42% 8 / 19 Required Fields Complete.

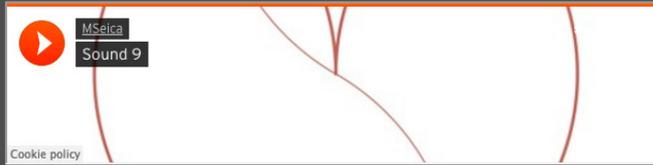
Example 8



How much do you associate this sound with "Disgust" ?

1 2 3 4 5
Worst ● ● ● ● ● Best

Example 9



Choose the emotion(s) associated with this sound (multiple answers allowed)

- Surprise
- Disgust
- Fear
- Trust
- Sadness
- Joy
- Anticipation
- Anger
- None of the above

Example 10



How much do you associate this sound with "Surprise"?

1 2 3 4 5
Worst ● ● ● ● ● Best

Example 11



How much do you associate this sound with "Fear"?

1 2 3 4 5
Worst ● ● ● ● ● Best

Example 12



Choose the emotion(s) you associate with this sound (multiple answers allowed) ▾

- Joy
- Fear
- Sadness
- Disgust
- Anticipation
- Surprise
- Anger
- Trust
- None of the above

Example 13



Choose the emotion(s) associated with this sound (multiple answers allowed) ▾

- Surprise
- Disgust
- Fear
- Trust
- Sadness
- Joy
- Anticipation
- Anger
- None of the above

Example 14



How much do you associate this sound with "Trust" ▾

1 2 3 4 5
Worst ● ● ● ● ● Best

Page 3 of 5

Back

Next

Set 1



Choose the right answer *

- The first composition relates to Anticipation, and the second to Surprise
- The first composition relates to Surprise, and the second to Anticipation
- None of the above

Set 2



Choose the right answer *

- The first composition relates to Anger, and the second to Fear
- The first composition relates to Fear, and the second to Anger
- None of the above

Back

Next

Set 3



Choose the right answer *

- The first composition relates to Trust, and the second to Joy
- The first composition relates to Joy, and the second to Trust
- None of the above

Set 4



Choose the right answer *

- The first composition relates to Anger, and the second to Anticipation
- The first composition relates to Anticipation, and the second to Anger
- None of the above

You're welcome to leave a comment or a suggestion (OPTIONAL)

Thank you for your time!

Submit

E Comentários submetidos no questionário

1. *Trust is a hard feeling to describe in sound, but from what I noticed and connected while listening (I might be wrong, but this is what I felt), is that trust is connected with sounds that I would describe as being close to a christian like choir/organ music - but they are also used in other media to describe peaceful ambients, but the ideia might come from the same place. I think that connecting these sounds with culture is a bad ideia, since people from around the world will connect some sounds with different things.*

Overall I think that the feelings associated to the sounds do get across really well, mainly joy, fear and anger. I really enjoyed the results.

Good luck on your thesis defense!!

2. *Un étude incroyable! Ça nous fait penser aux différentes émotions et aussi, à la diversité de mouvements (dérivés de chaque émotion) que nos corps peuvent assumer sous l'influence de la musique.*

3. *Muito interessante e desafiante. Gostei muito!*

4. *Loved the compositions =D*

5. *Great job! I liked to participate*

6. *Os sons são tão evocativos de Twin Peaks que a única forma de responder às perguntas era imaginar cenas da série relacionadas com as emoções em questão e ver a que personagens a música se adaptaria.*

(Comentário a cada questão)

7.

1 - *Slight relaxation, calmness*

2 - *Fear, suspense/anticipation, distrust and slight nervousness (like something bad is about to happen)*

3 - *Malicious/evil (like someone is plotting something bad -it can be out of anger- but anger is not quite the feeling that the sound conveys)*

4 - *Limbo, not joyful but not that sad. The high-pitch, half tone sounds give a slight vibe of surprise. But the rest of the sounds tone down the possible sad vibe.*

5 - *Love?? Relaxation, calmness, trust/security, not happiness/joy but reminds me of someone in a good mood in a calm spring day.*

6 - *Almost sadness, needs more melancholy (softness in the sounds i guess?) Still*

the closest sound to sadness up until now.

7 - Not all the way anticipation but close! Still gives me the felling that someone is plotting something evil.

8 - Not disgust but the start of someone felling angry. Like a poor guy who just received bad news and he's mulling over it, and soon will explode. (Reminds me of the soundtrack of old brasilian soap operas)

9 - Love again?? Like I'm looking at someone in love. Slight calmness.

10 - Surprise, but a bad kind of surprise. I guess its the chords and the fact its synthetic.

11 - Yaasss! Fear. The start is very good, the vibrato goes very well with fear (and slight scifi feeling) but there's still something that pulls me back from fear - one of the notes/something missing (The cadence between loops I think)

12 - Yaaas! Sadness with more melancholy! :D Still sound notes to adjust but so good! The three first notes of the melody and the chord that goes with it are on point. The rest still can get sadness across but not as well as the first notes that give you that a clear introduction of the emotion.

13 - Fun? I guess? I felt like the rest of the music was missing, but if it kept going it would became upbeat if that makes sense. I guess it's because of the happy chord, but it doesn't give me joy.

14 - So hard! The sound makes me feel calm, maybe a little happy but mostly calm. Rationally, I know if I'm calm it's because I trust my environment. In a way, I feel that 5 conveyed a little more trust than this one. Still I'll give it a score of 4 because sometimes it has to do with the personality of the listener.

Set 1 - I think both compositions have characteristics that can relate to anticipation and surprise (both of bad kind). I chose the second because the comp.2 reminds me a little more of fear, something that I relate to bad anticipation.

(Comp 1: the final chords reminded me of sailor moon soundtrack)

Set 2 - I didn't feel anger. Like I said before, the vibrate in these type of compositions make me lean towards fear. To me, both of them remind me a little of fear and anticipation/nervousness but also some kind of malicious intent.

Set 3 - Tied. None of them give me joy. Content, calmness, relaxation, peace of mind... yes. And I guess because of that both can give, to an extent, the feeling of trust.

Set 4 - Anticipation/Bad intentions, yes. Anger, not quite. But I think I felt a tiny little bit of disgust for the first time in comp1.

(Comp 1: Loved the minor intervals & Comp 2: Sailor Moon!)

8. Gosto de ouvir música, mas não tenho educação musical!

9. *Well its not a suggestion, its just that i think that the “Trust” category is a little vague and i didn’t understand it fully. From the sounds i heard i think that some might be categorized as “Calm” or “Relax” (as in calm situations) but i had trouble associating them to “Trust”. But then again i am a newbie when it comes to sound.*

10. *Nice work*

11. *Parabéns, os sons passam mesmo emoções, mesmo que talvez não sejam as pretendidas. Boa sorte!*

12. *I felt like I needed a wider range of emotions in order to express more precisely what I was feeling. Also, it is hard to express emotion through MIDI. :)*

F Artigo submetido e aceite na CMMR (*Computer Music Multidisciplinary Research*)

Sonifying Twitter’s emotions through music (Work in Progress)

Mariana Seça¹, Rui (Buga) Lopes², Pedro Martins¹ and F. Amílcar Cardoso¹

¹ CISUC, Informatics Engineering Department, University of Coimbra
marianac@student.dei.uc.pt, {pjmm, amilcar}@dei.uc.pt

² Independent Researcher
bugamail@gmail.com

Abstract. Sonification is a scientific field that seeks to settle sound as a mean to interpret data, whose development has been directly connected with the growth of technology in everyday life. This allowed the establishment of new on-line communication tools, such as Twitter, as a part of a daily routine that gave users the possibility to share their opinion and feelings about national and global events. This paper reports a work in progress with the purpose of uniting this social media phenomena with sonification, using Twitter data to extract the user’s emotions and mapping them to musical variables. The purpose of this work is to explore the potential of music in translating data as personal and complex as human emotions, creating new ways of reading and understanding them.

Keywords: Musical Sonification, Emotion Detection, Twitter, Algorithmic Composition, Sound Design

1 Introduction

Sonification, defined by Kramer et al. [11] as “the use of nonspeech audio to convey information”, has been establishing its place as a new field of communication, exploring new techniques to represent complex data through sound [8]. Since the birth of the International Community of Auditory Display (ICAD) in 1992, where the study of auditory displays was proposed as a scientific field, sonification techniques have been developed significantly, with applications in areas such as Medicine or Seismology, and concepts from multiple areas, from Human Perception to Design and Engineering that form its interdisciplinary nature [8].

The development of the sonification field is directly connected to the significant growth that technology experienced in the last decade, with personal computers containing the hardware and software needed to manipulate sound [8], and auditory displays becoming a presence in everyday life. This technological growth and accessibility to the main population also allowed the establishment of new communication media as a daily routine: the social media. Facebook and Twitter are examples of these social tools that became the new mass media, not only for the common citizen, but also for companies, news industry and important figures. The study of social media data has gained new potential in several

areas, such as marketing for extracting consumer’s opinions, or social studies for understanding the user’s moods and views about events. The field of sentiment analysis emerges from this potential, with the focus of studying computational analysis to extract opinion and sentiment from text, interacting with affective computing to explore the computer’s ability in recognizing emotions [19].

This paper presents work in progress that handles with these three fields: sonification as the core, with data retrieved from social media, specifically Twitter, and analysed through sentiment analysis. The main goal is to explore new ways to read, through sound, data as personal and complex as human emotions. This study is primarily motivated by the potential of music in conveying emotions, and lies to this potential, exploring ways to transmit information through a melodic, harmonic and rhythmic composition. It involves two major challenges: the emotion extraction, implementing a system that properly analyses the tweets and classifies their emotions; and the musical mapping, choosing a set of parameters that can distinguish and embody the emotions. The main focus of this paper is on the musical mapping. However, we also briefly describe how the process of extracting emotional information from the tweets is implemented.

To explain the development made so far, this paper starts with an overview of Sonification works and projects that used social media data, which influenced and inspired this work. Section 3 discusses the model of the emotions chosen, and the sentiment analysis process implemented to classify tweets. Section 4 presents the mapping structure and musical implementation in course, showing the results obtained and concluding with a reflection on future development.

2 Related Work

There are many studies of sonifications developed in a vast number of areas, proven successful in practical and scientific terms [11].

The first two examples show the potential of sonification in scientific data. The work of Vicinanza, specifically his *Voyager 1 & 2 Spacecraft Duet* is a sonification of data gathered by the Voyager 1 & 2 NASA probes during 37 years of spatial exploration. It is composed by two melodies in different frequencies, with the measurements made at the same times, but billions of kilometers apart [22]. The second example is *The Climate Symphony* by Quinn [21], where he used data from the chemical composition of an ice block in Greenland to translate into music the climatic changes endured by the great continental ice sheets.

In the poetry field, Coelho, Martins & Cardoso [3] created a *A Musical Sonification of the Portuguese Epopee*, specifically of *The Lusiads*, by Luís de Camões. It is an interactive sonification where the user can explore the poem by choosing different levels of “zooming”, listening to it as a whole, as a canto/subnarrative or a specific episode and therefore customising the experience.

Bulley and Jones developed *Living Symphonies*, a sound installation based on the fauna and flora of four ecosystems in the United Kingdom. The authors built a model that reflected the behavior, movement and daily patterns of every being in the wild, translating a network of interactions that formed the ecosystem [2].

Listen to Wikipedia, developed by LaPorte and Hashemi in 2013, is a real-time visual sonification of the editing made in pages and articles in Wikipedia, mapping a set of actions that transcribe the revisions made [12].

#tweetscapes is the most similar project to this study, consisting in the sonification of German tweets in real-time. Developed by Hermann, Nehls, Eitel, Barri and Gammel, the goal was to create “a new sense of media awareness” [9]. Tweets were mapped according to the hashtags, replies and location, adding a visual geographic distribution that accompanied the sonification.

The last example is a website created by Harris and Kamvar, named *We Feel Fine* [7]. It is a visualization that collects human emotions from a vast number of blogs, searching for entries that contain the expression “I feel” or “I am feeling” and providing a social and demographic study.

3 Processing Data

The process implemented in our system comprises four steps (Fig.1) and uses three software tools to produce the sonification: Processing, to get and classify tweets, Max, to generate the musical composition, and Ableton Live, to play the composition using VST's plug-ins. The current section describes how the three first steps were implemented. The sound mapping step will be presented in detail in Section 4.

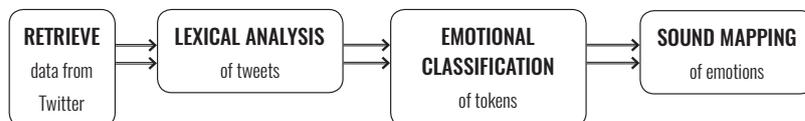


Fig. 1. Process flow diagram

3.1 Data Gathering

The emotional content of a tweet lies in two elements that will form the dataset: the hashtags, meta-data tags that establish the subject and mood of a tweet, and the main text, that elaborates the subject and expresses the user's opinion.

To retrieve the tweets, we are using the *Twitter4j* Java library. The data is filtered by language, receiving only tweets in English. To ensure data with some relevance, the tweets are also filtered by the number of followers of the tweet's author: only tweets whose author has more than 1000 followers are considered.

3.2 Emotion Lexicon

We implemented a system based on a lexicon of words, composed by associations of emotions to each word using a lexicon developed by Mohammad, the *NRC*

Hashtag-Emotion Lexicon [17], with the aim of maintaining a simpler and more open approach. It is based on a model of emotions created by Plutchik [20] (Fig.2), that is comprised of eight primary emotions: joy, trust, fear, surprise, sadness, disgust, anger and anticipation.

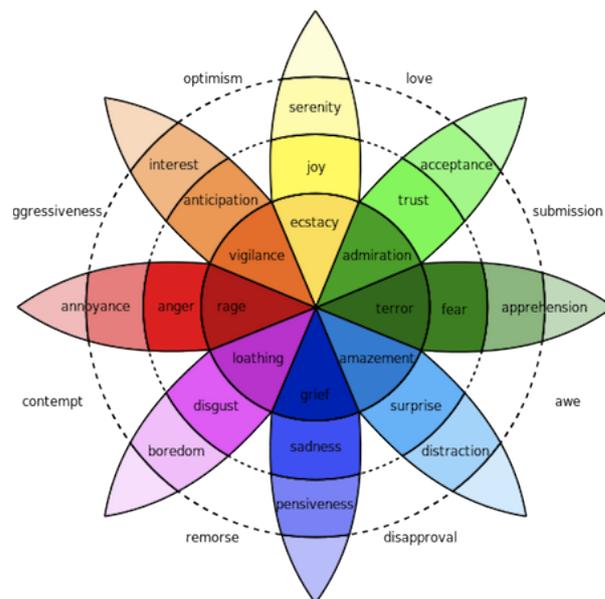


Fig. 2. Robert Plutchik's Model of Emotions

3.3 Lexical and Emotional Analysis

The next task was to implement a set of natural language processing (NLP) tools to parse the tweets, establishing the structure of sentences, word dependencies and “Part-Of-Speech Tagging”, classifying each word with its root form, called lemma, and its grammatical category. Working in a Java environment, we have chosen the *Stanford CoreNLP* tool [15], developed by the Stanford NLP group.

The analysis of the receiving tweets is comprised of three steps (Fig.3):

1. Tweet's parsing and tagging: to define the main structure of the sentences and the words classes. Words classified as nouns, verbs, adverbs or adjectives are stored, due to these classes describing usually the emotion and intensity of a sentence.
2. Identify negations: find the antonyms of negated words using *Wordnet* [16].
3. Submit the remaining words to a combination of two normalisation lexicons [6] [14], converting the terms and abbreviations of the texting language to its correct writing form (example of the word “happy” in Fig.3).

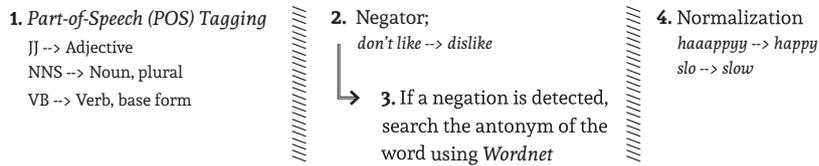


Fig. 3. Steps of the lexical analysis

The emotional classification is then applied to the resulting list of words. First, we search the existence of each word in the *NRC Hashtag-Emotion Lexicon*. If it is not found, a search for the lemma of the word is made. Without results, *Wordnet* is used to find a synonym of the word, repeating the first and second steps if a result is found. For the hashtags, the process is more simplified: as the *NRC Hashtag-Emotion Lexicon* contains a considerable amount of hashtags and its emotional association, we search the hashtags directly in the lexicon.

3.4 Intermediate Results

All the steps were saved in a text file for evaluation, including the parsing (with each word, correspondent lemma and tag), the lexical analysis' resulting list, the emotions extracted from each word and the sum of every word's emotion, providing the tweet's classification. In the example shown in Fig.4, *Trust* and *Joy* have the highest and similar values. The majority of the words obtain a classification, allowing a more complete and differentiating categorisation of each tweet. This process takes an average time of 1.6 tweets per second, ensuring a consistent set of variables to sonify and establishing emotional tendencies.

TEXT: @SgtBigC Thank you for your service! I look forward to your tweets !

TOKENS / LEMMAS / TAGS: [@sgtbigc/@sgtbigc/NN, thank/thank/VBP, you/you/PRP, for/for/IN, your/you/PRPS, service/service/NN, !/!, i/i/FW, look/look/VBP, forward/forward/RB, to/to/TO, your/you/PRPS, tweets/tweet/NNS]

NEGATED, FILTERED & NORMALISED: [@sgtbigc/@sgtbigc/NN, thank/thank/VBP, service/service/NN, look/look/VBP, forward/forward/RB, tweets/tweet/NNS]

SYNONYMS OF @sgtbigc:
thank: surprise (0.1104075), joy (0.8362264),
service: anticipation (0.048728146), anger (0.3141353), joy (1.4751366),
disgust (0.104729064),
look: trust (2.5172772), surprise (0.08125829), disgust (0.2233381),
forward: anticipation (0.8324527), fear (0.38292524), joy (0.14821284),
tweets: anticipation (0.16105315), anger (0.27538794),

HASHTAGS: []

--- Emotional Classification ---

Anger - 0.58952326
 Anticipation - 1.0422341
 Disgust - 0.32806715
 Fear - 0.38292524
Joy - 2.459576
 Sadness - 0.0
 Surprise - 0.1916658
Trust - 2.5172772

Fig. 4. Example of a tweet's emotional classification

4 Mapping Twitter’s Emotions to Music

In 1936, Hevner [10] conducted a series of studies of the expressive elements in music, associating a list of adjectives to musical parameters, such as major/minor mode, dissonant/consonant harmonies and firm/flowing rhythms. The results determined a tendency in the associations, achieving an universal affective nature in musical forms. The main challenge of this project is to explore this expressive dimension to map emotions. Gabrielsson & Lindström [4] gathered over 100 studies made in the last century on this subject, that served as an initial foundation for this sonification. The majority focused on evaluating simple parameters, like tone quality, melody direction, loudness or tempo. Studies of more complex parameters, such as harmonic progressions or chords natures are very limited, exploring only differences in consonant/dissonant harmonies. The authors concluded that although each parameter can influence the emotional expression, it is almost never determined by one factor, but a combination of several.

In our project, we decided to organise the mapping into three main aspects of music: melody, rhythm and harmony, associating probabilities with each parameter for each emotion. At the start of the program, the main root note is defined, which provides the tonic for the harmonic progressions and the melody’s scale.

For the melody, each note is raffled from the current scale, or from the current chord, or as a chromatism, following probabilities that change according to each emotion (See Fig. 5). Chromatic notes are dissonant notes that occur half-step above or below one of the chord’s pitches. They travel outside a given scale and are generally used as transition notes to create tension before returning to consonance, releasing the tension. In our system, they are played on weak beats, lasting only half a beat, to keep a subtle dissonant and a tonal feeling. *Fear*, for example, has a higher chance of occurring a chromatic note (50%) than *Joy*, with only 5%.

MELODY // NOTES			MELODY // RHYTHM		
<i>FEAR</i>	< % Scale	10%	<i>DISGUST</i>	< %  5%	
<i>DISGUST</i>	= % Arpeggio	40%	<i>TRUST</i>	> %  35%	 40%
	> % Chromatism	50%		> %  20%	
<i>ANGER</i>	% Scale	35%	<i>SADNESS</i>	%  15%	
<i>ANTICIPATION</i>	= % Arpeggio	40%	<i>FEAR</i>	%  40%	 35%
<i>SURPRISE</i>	% Chromatism	25%	<i>JOY</i>	%  10%	
<i>SADNESS</i>	> % Scale	55%	<i>SURPRISE</i>	> %  60%	
<i>JOY</i>	= % Arpeggio	40%	<i>ANTICIPATION</i>	< %  10%	 25%
<i>TRUST</i>	< % Chromatism	5%	<i>ANGER</i>	< %  5%	

Fig. 5. Melody probabilities on notes and rhythm figures

Hevner also concluded that a slow tempo was associated with more solemn, sad or gentle sounds, whereas happy, exciting and vigorous sounds were likely translated by a fast tempo [4]. Translating this structure to rhythm figures, the duration of the melody notes were associated through probabilities for each emotion, using four rhythm figures: whole, half, quarter and eighth notes (Fig. 5). *Anticipation*, *Anger* and *Surprise* have higher chances of producing quarter notes, ensuring a more rapid and tense melody. In opposition, for *Trust* and *Disgust* there is a higher tendency to play longer notes.

MELODY // INTERVALS

	ANTICIPATION	FEAR	ANGER	JOY	TRUST	SADNESS	SURPRISE	DISGUST
Tonic	0%		5%		5%		5%	20%
2nd	25%		30%		35%		10%	10%
3rd	25%		15%		30%		15%	10%
4th	10%		5%		5%		10%	10%
5th	25%		10%		10%		15%	10%
6h	5%		15%		5%		20%	15%
7th	5%		15%		5%		15%	15%
8th	5%		5%		5%		10%	10%

Fig. 6. Melody probabilities on intervals

The melodic interval between two consecutive notes is also raffled according to the emotion being conveyed (See Fig. 6). *Joy* and *Sadness* have a higher chance of producing a stepwise motion, using seconds and thirds to provide a more stable and comfortable flow. On the other hand, *Surprise* has a higher probability of sixths and sevenths in order to create sudden jumps that bring an unexpected feeling. An emotion like *Trust* has then a higher probability of producing a consonant sound, in opposition to *Disgust*, that produces a heavily dissonant sound.

Music is built over tension and release moments that define the harmonic sequence, which have an impact on the conveyed emotions. Our approach for distinguishing each emotion harmonically was based on Hevner's studies and Gabrielsson & Lindström's analysis, comparing major to minor modes and consonant to dissonant harmonies. Hevner concluded that "it is apparent that the use of the major or minor mode is of the most clear-cut significance in the expression of four different mood effects" [10], with the major mode strongly associated with happiness, gaiety and playfulness, and the minor with sadness, agitation and

disgust”. A simple/consonant harmony is defined as happy, graceful, serene and dreamy, connected to joy and tenderness, and a complex/dissonant harmony as vigorous and sad, connected to agitation, fear and unpleasantness. These two notions serve as the basis for exploring the progressions and correspondent chords. Due the complexity associated with harmony, we decided to define a set of 20 chords with different natures (Fig.7). These chords would serve as the structure for a series of progressions that translate each emotion (Fig.8), ensuring the coherence of the sequence and the affective nature associated. The chords may be played in three possible voicings, chosen randomly: in the root position, with an added tonic in the bass (an octave lower), with the tonic and the fifth in the bass, or with the tonic and the seventh (third if triad) in the bass.

HARMONY // CHORDS

TRIADS		TETRACHORDS	
<i>Major</i>	1 3 5	<i>Major 7</i>	1 3 5 7
<i>Minor</i>	1 b3 5	<i>Dominant (7)</i>	1 3 5 b7
<i>Diminished</i>	1 b3 b5	<i>Minor 7</i>	1 b3 5 b7
<i>Augmented</i>	1 3 #5	<i>Half-Diminished</i>	1 b3 b5 b7
<i>Suspended4</i>	1 4 5	<i>Diminished</i>	1 b3 b5 bb7(6)
<i>Suspended2</i>	1 2 5	<i>Augmented Major 7</i>	1 3 #5 7
		<i>Augmented 7 (Altered)</i>	1 3 #5 b7 b9 #9
		<i>Major 7#11 (Lydian chord)</i>	1 3 #4 7
		<i>Lydian Dominant</i>	1 3 #4 b7
		<i>7 Suspended4 add 9</i>	1 4 5 b7 9
		<i>Major Six-Nine</i>	1 2 3 6
		<i>Minor Major 7</i>	1 b3 5 7
		<i>Minor 6</i>	1 b3 5 6
		<i>Minor Major 7#11</i>	1 b3 #4 7

Fig. 7. List of chords

For each emotion, a progression is chosen from the list, all with equal probability. Each progression is associated with a number of scales from which the melody is created. The scales are either built over the modes of the major scale, or the pentatonic scale, or harmonic and melodic scales.

The harmonic structure explores known progressions, such as the major *I (Major) - VI (Minor) - IV (Major) - V (Dominant)* or the minor *I (Minor) - I (Minor) - II (Half-Diminished) - III (Major)*, and combinations of different chord natures, building sequences that relate them with the tension associated with each degree. For example, the progression *I (Suspended4) - I (Six-Nine) - I (Suspended4) - I (Major)* combines different major chords with a suspended chord, always built on the first degree. The major chords maintain the stability, and the suspended chord adds tension and a more open sound, establishing the possible set of association with *Joy*.

The progression chosen is repeated a random number of times, with the system choosing a progression again randomly at the end of loop, ensuring a more dynamic and flowing composition. For each progression loop, Processing saves the values of the emotions extracted from each tweet and their sum. At the

HARMONY // PROGRESSIONS EXAMPLES

ANTICIPATION	III ⁻⁷ VI ⁷ II ⁻⁷ V ⁷ I ^{MAJ7#11} VII ^{-7b5} bVII ⁷ bVI ^{MAJ7#11}	SADNESS	II ^{HDIM7} V ^{AUG7} I ⁻⁷ I ⁻⁷ I ⁻⁷ II ^{HDIM7} III ^{MAJ7#11}
SURPRISE	I ^{SUS2} bV ^{SUS2} VII ^{SUS2} I ⁻⁷ II ⁻⁶	FEAR	I ^{DIM7} I ^{DIM7} bII ^{7#11} I ^{MAJ7#11} bIII ^{MAJ7#11} bV ^{7#11} bV ^{7#11} bVI ^{DIM7} V ^{7#11}
JOY	I ^{MAJ7#11} I ^{MAJ6/9} I ^{MAJ7#11} I ⁷ I ^{MAJ} VI ⁻⁷ IV ^{MAJ7} V ⁷	ANGER	V ^{MAJ} V ⁷ V ^{AUG7} V ^{MAJ} I ^{-MAJ7} bII ^{AUG7} VI ^{DIM7} IV ^{DIM7} bVI ^{DIM7}
TRUST	V ^{MAJ} I ^{MAJ} V ^{MAJ} I ^{MAJ} I ^{MAJ7} II ⁻ III ⁻⁷ I ^{MAJ}	DISGUST	I ^{AUG7} I ^{AUG MAJ7} bVI ^{DIM7} I ^{AUG MAJ7}

Fig. 8. List of progressions for each emotion

end of the loop, Max sends a message to Processing requesting the next emotion with the highest value, which represents the emotional tendency of the tweets during that time. The sonification is dynamically built in the communication of the two modules, with Ableton Live playing the harmony through a VST called *Sinnah* [18] and the melody through Kairatune [5]. The tone quality is chosen to resemble the ambient music genre, evoking a more atmospheric and open sound.

Some of the resulting sounds produced so far are available at: <https://soundcloud.com/mariana-seica/sets/sonifying-twitthers-emotions-through-music/s-jwY7o>

5 Reflections and Future Development

The major challenge of this study, aimed at sonifying emotions from tweets, is to define and maintain a parametrization with reasonable complexity that allows the mapping from emotions to the musical output to be understandable and distinguishable in a compelling composition. The work developed so far proved this difficulty, and demands more experimentation. One of the impending tasks will be to add more progressions to each emotion, ensuring a more dynamic sonification. The tempo, the loudness and the tone quality are also parameters that will be considered, exploring the possible affective results of their changing.

A significant amount of tests will be needed to understand key elements of this study: first, if the tweets are being correctly classified, i.e., if the emotions extracted from the tweets embody their emotional content; and second, if the composition reflects this emotional content, with a set of musical parameters that express it. The validation is imperative to interpret the effectiveness of this project, and how the users perceive the sonification.

References

1. Aldwell, E., Schachter, C.: *Harmony & Voice Leading*. Thomson-Schirmer (2003)

2. Bulley, J., Jones, D.: Living Symphonies (2014), <http://www.livingsymphonies.com/>
3. Coelho, A., Martins, P., Cardoso, A.: A Musical Sonification of the Portuguese Epopee. In: MUME 2016 - The Fourth International Workshop on Musical Metacreation (2016)
4. Gabrielsson, A., Lindström, E.: The Role of Structure in the Musical Expression of Emotions. In P.N. Juslin, J. Sloboda (Eds.): Handbook of Music and Emotion: Theory, Research, Applications, Oxford University Press, New York (2010)
5. Futucraft: Kairatune (2011), <http://futucraft.com/category/kairatune/>
6. Han, B., Cook, P., Baldwin, T.: Automatically Constructing a Normalisation Dictionary for Microblogs. In: Proceedings of the 2012 Joint Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing and Computational Natural Language Learning, Jeju Island, Korea (2012)
7. Harris, J., Kamvar, S.: We Feel Fine (2006), <http://number27.org/wefeelfine>
8. Hermann, T., Hunt, A., Neuhoff, J.G.: The Sonification Handbook. Logos Verlag, Berlin, Germany (2011)
9. Hermann, T., Nehls, A.V., Eitel, F., Barri, T., Gammenl, M.: Tweetscapescapes - Real-time sonification of Twitter data stream for radio broadcasting. In: Proceedings of the 18th International Conference on Auditory Display. Atlanta, GA, USA (2012)
10. Hevner, K.: Experimental Studies of the Elements of Expression in Music. The American Journal of Psychology. 48(2), 246–268 (1936)
11. Kramer, G., Walker, B., Bonebright, T., Cook, P., Flowers, J.H., Miner, N., Neuhoff, J.: Sonification Report: Status of the Field and Research Agenda. Faculty Publications, Department of Psychology. Paper 444 (2010) <http://digitalcommons.unl.edu/psychfacpub/444>
12. LaPorte, S., Hashemi, M.: Listen to Wikipedia (2013), <http://listen.hatnote.com/>
13. Ligon, B.: Jazz Theory Resources: Tonal, Harmonic, Melodic and Rhythmic Organization of Jazz. Houston Publishing (2003)
14. Liu, F., Weng, F., Jiang, X.: A Broad-Coverage Normalization System for Social Media Language. In: Proceedings of the 50th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics. pp. 1035–1044 (2012)
15. Manning, C.D., Surdeanu, M., Bauer, J., Finkel, J., Bethard, S.J., McClosky, D.: The Stanford CoreNLP Natural Language Processing Toolkit. In: Proceedings of the 52nd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics: System Demonstrations, pp. 55–60 (2014)
16. Miller, G.M.: WordNet: A Lexical Database for English. Communications of the ACM. 38(11), 39–41 (1995)
17. Mohammad, S. M., Kiritchenjko, S.: Using Hashtags to Capture Fine Emotion Categories from Tweets. Computational Intelligence. 31(2), 301–326 (2013)
18. NUSofting: Sinnah (2002), http://nusofting.liqihsynth.com/Sinnah_VA_synth.html
19. Pang, B., Lee, L.: Opinion Mining and Sentiment Analysis. Foundations and Trends in Information Retrieval, 2(1-2), pp. 1–135 (2008)
20. Plutchik, R.: The Nature of Emotions. American Scientist. 89, 344–350 (2001)
21. Quinn, M.: Research set to music: the Climate Symphony and other sonifications of ice core, radar, DNA, seismic and solar wind data. In: Proceedings of the International Conference on Auditory Display. Espoo, Finland (2001)
22. Vicinanza, D.: Voyager 1 & 2 Spacecraft Duet (2014), <http://www.geant.net/MediaCentreEvents/news/Pages/The-sound-of-space-discovery.aspx>

