

JÚLIO CORRÊA BARROS SILVA

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E MÚSICA

Trabalho de Conclusão de Curso

São Paulo

2023

JÚLIO CORRÊA BARROS SILVA

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E MÚSICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Música da Escola de Comunicações e Artes da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Bacharel em Música com Habilitação em Composição.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Henrique de Oliveira Iazzetta.

São Paulo

2023

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo na Publicação
Serviço de Biblioteca e Documentação
Escola de Comunicações e Artes da Universidade de São Paulo
Dados inseridos pelo(a) autor(a)

Silva, Júlio Corrêa Barros
Inteligência Artificial e Música / Júlio Corrêa Barros
Silva; orientador, Prof. Dr. Fernando Henrique de
Oliveira Iazzetta. - São Paulo, 2023.
51 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -
Departamento de Música / Escola de Comunicações e Artes /
Universidade de São Paulo.
Bibliografia

1. Inteligência Artificial. 2. Música. 3. Algoritmos.
4. Composição. I. Iazzetta, Prof. Dr. Fernando Henrique
de Oliveira . II. Título.

CDD 21.ed. - 780

Elaborado por Alessandra Vieira Canholi Maldonado - CRB-8/6194

O mediador entre a cabeça e as mãos deve ser o coração.

Fritz Lang

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, o prof. Dr. Fernando Iazzetta, pelos ensinamentos e paciência com a minha insistência exagerada para os aplicativos funcionarem, e ao colega Gabriel Lemos pelas orientações e dicas de estudo. Ao meu amigo Yago Cano, por me ajudar a desvendar o mundo da programação, e aos amigos Paulo Sallet e Fernanda Redondo, demonstro minha gratidão por seu carinho.

Por me ajudar a trilhar esse caminho desde a infância, agradeço a toda a família, começando pela minha mãe, Jeanne Corrêa, à minha tia e madrinha Sheila Corrêa, ao meu pai Paulo Henrique Silva, à minha avó Dete Silva, ao meu avô Bolival Silva e aos meus tios e primas.

Gratidão também a todos os professores que me ensinaram a amar a música desde os cinco anos de idade no Conservatório Musical do Butantã, na Escola de Música do Estado de São Paulo (EMESP) Tom Jobim, na Escola Municipal de Música de São Paulo e, finalmente, na Escola de Comunicação e Artes da Universidade de São Paulo (ECA-USP). Em especial, à Mônica Ajej, Regina Kinjo, Dante Cavalheiro, Meca Vargas, Silvio Ferraz, Marcos Ramos e João Candeloro.

Por último, porém não menos importante, não posso deixar de fora o agradecimento ao meu companheiro de estudos em tempo integral, meu gato Sopão.

RESUMO

SILVA, Júlio Corrêa Barros. *Inteligência Artificial e Música*. 2023, 51p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Música) – Departamento de Música, Escola de Comunicações e Artes, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2023.

Resumo: Este trabalho de conclusão de curso é uma tentativa de comparar a composição musical feita por um estudante no final do curso de composição com aquela realizada por uma ferramenta de Inteligência Artificial (IA), ambas partindo dos mesmos parâmetros. No primeiro capítulo, há uma introdução da história da IA acompanhando a evolução da tecnologia computacional, assim como uma explicação de termos técnicos, tais como *machine learning*, redes neurais e algoritmos genéticos e evolucionários que fazem parte desse universo. A seguir, no capítulo “Inteligência Artificial e Música (IAM)” são descritas a história e aplicação crescentes da IAM, o surgimento da composição automatizada e da música algorítmica. Posteriormente, discorre sobre o uso dos Sistemas Imunológicos Artificiais e das ferramentas de masterização aumentando o acesso das pessoas a esse universo sem que tenham uma grande formação técnica e musical. Ainda, aborda a importância da IAM como instrumento de grande potencial na educação do musicista. O capítulo seguinte, “Tentativas de fazer música com IAM”, descreve os experimentos de criação musical com *software* de IA, mostrando os erros e acertos, os resultados às vezes ruins musicalmente e outros satisfatórios, porém apresentando dificuldades de codificação da programação. No último capítulo são analisadas as interfaces da IAM aplicadas aos campos da arte, tecnologia e educação, abordando conceitos como ética, consumo, liberdade, acessibilidade de uso e direitos autorais. Também comenta sobre as dificuldades do musicista em conseguir um resultado final da produção da IAM com uma música com boa qualidade artística. No caso deste trabalho, isso impossibilitou a comparação pretendida, uma vez que não foi possível alcançar resultados satisfatórios de criação musical com as ferramentas computacionais utilizadas, demonstrando que a IAM ainda tem limites.

Palavras-chave: Inteligência artificial. Música. Algoritmos. Composição.

ABSTRACT

Abstract: This course completion paper is an attempt to compare the musical composition made by a student at the end of the composition course with that made by an Artificial Intelligence (AI) tool, both based on the same parameters. In the first chapter, there is an introduction to the history of AI following the evolution of computational technology, as well as an explanation of technical terms, such as machine learning, neural networks, genetic and evolutionary algorithms that are part of this universe. Next, in the chapter “Artificial Intelligence and Music (AIM)” the growing history and application of AIM is described, as well as the emergence of automated composition and algorithmic music. Later, the use of Artificial Immune Systems and mastering tools is discussed, increasing people's access to this universe without having extensive technical and musical training. It also addresses the importance of AIM as an instrument with great potential in the education of musicians. The following chapter, “Attempts to make music with AIM”, describes the experiments in creating music with AI software, showing the successes and mistakes, the results that are sometimes musically bad and sometimes satisfactory, but presenting difficulties in coding the program. In the last chapter, AIM interfaces applied to the fields of art, technology and education are analyzed, addressing concepts such as ethics, consumption, freedom, accessibility of use and copyright. It also discusses the difficulties faced by musicians in achieving the final result of the AIM production with music of good artistic quality. In the case of this work, this made the intended comparison impossible, since it was not possible to achieve satisfactory results in musical creation with the computational tools used, demonstrating that AIM still has limits.

Keywords: Artificial Intelligence. Music. Algorithms. Composition.

SUMÁRIO

Lista de abreviaturas e siglas	p. 09
Lista de tabelas	p. 10
Introdução	p. 11
Capítulo 1: Inteligência Artificial e Música (IAM)	p. 19
Capítulo 2: Tentativas de Fazer Música com IAM	p. 27
Conclusão	p. 41
Referências bibliográficas	p. 45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AG	Algoritmos Genéricos
<i>BSL</i>	<i>Backtracking Specification Language</i>
<i>CMU</i>	<i>Carnegie Mellon University</i>
<i>CPU</i>	<i>Central Processing Unit</i>
ECA-USP	Escola de Comunicação e Artes da Universidade de São Paulo
EMESP	Escola de Música do Estado de São Paulo
<i>EMI</i>	<i>Experiments in Musical Intelligence</i>
EAU	Emirados Árabes Unidos
EUA	Estados Unidos da América
IA	Inteligência Artificial
IAM	Inteligência Artificial e Música
<i>ICMC</i>	Conferência Internacional de Música por Computador
<i>IDM</i>	<i>Intelligent Dance Music</i>
<i>IMG/1</i>	<i>Incidental Music Generator number one</i>
<i>LISP</i>	<i>List Processing</i>
<i>MIT</i>	Instituto de Tecnologia de Massachusetts
<i>OSCAR</i>	<i>OSCillator ARtist</i>
<i>PD</i>	<i>Pure Data</i>
SIAs	Sistemas Imunológicos Artificiais
<i>SNARC</i>	<i>Stochastic Neural Analog Reinforcement Calculator</i>
<i>SOM</i>	<i>Self-Organizing Map</i>

LISTA DE TABELAS

Tab. 1 - Parâmetros de pesquisa no *Jukebox*. Elaboração própria.

p. 33

INTRODUÇÃO

A ideia de máquinas dotadas de características humanas pode parecer atual, mas sabe-se que os mitos da Grécia Antiga já pensavam em humanoides, máquinas que imitam homens, com capacidades como inteligência, consciência e razão. Segundo o professor João Fernando Marar, especialista em Inteligência Artificial (IA) (PRADO, 2023a), na Mitologia Grega, o Deus do Fogo, Hefesto, construiu ao menos três humanoides chamados Talos, Pandora e as Donzelas Douradas, essas últimas feitas de ouro parecidas com mulheres jovens que respondiam às necessidades de seu criador. Elas possuíam consciência, fala, inteligência, aprendizado e razão. Já Talos era um robô gigante de bronze, que foi presenteado por Zeus a seu filho Minos para proteger a ilha de Creta. Ele era capaz de realizar tarefas e interagir com o ambiente. Por fim, a famosa Pandora foi criada como instrumento de traição depois que o Titã Prometeu roubou o fogo dos Deuses e o deu à humanidade para que a ajudassem a criar a tecnologia. Então Zeus ordenou a Hefesto que criasse uma humanoide para ser o mal disfarçada de dádiva, sendo ela moldada de terra e água, dotada de traição e sedução.

Ainda na Grécia Antiga, Aristóteles pensava em como livrar os escravos do trabalho braçal como, por exemplo, criando uma vassoura com vontade própria para realizar a limpeza sozinha. Assim, não haveria a necessidade de escravos fazerem o trabalho bruto, podendo eles usar o tempo para aprender outras coisas como, por exemplo, matemática. Essas ideias de humanoides substituindo tarefas humanas permearam as mentes de geração em geração, mesmo que ainda sem tecnologia para colocá-las em prática.

Foi com a Revolução Industrial, a Segunda Guerra Mundial e o consequente avanço tecnológico que, no ano de 1943, Warren McCulloch e Walter Pitts publicaram um artigo sobre redes neurais, estruturas de raciocínio artificiais em forma de modelo matemático que imitam o sistema nervoso humano. É, basicamente, um método de Inteligência Artificial que ensina computadores a processar dados de forma inspirada pelo cérebro humano (REDES..., [20--]). É um tipo de processo dito *machine learning*, que usa nós ou neurônios artificiais interconectados em uma estrutura em camadas.

As redes neurais contam com dados de treinamento para aprender e melhorar sua precisão ao longo do tempo, permitindo a classificação e agrupamento de dados a uma alta

velocidade. As tarefas de reconhecimento de fala ou imagem podem levar apenas poucos segundos. Uma das redes neurais mais conhecidas é o algoritmo – um passo a passo para resolução de um problema - de procura do Google.

Com as redes neurais também surgiram o chamado *deep learning*, onde o *deep* está se referindo à profundidade das camadas em uma rede neural. Esta consiste em mais de três camadas, que incluiriam as entradas e a saída, e pode ser considerada um algoritmo de *deep learning*. Já uma rede neural que só tem duas ou três camadas é apenas básica.

Foi na década de 1950 que se intensificaram as discussões sobre essas ideias da maneira como é pensada na atualidade e se saiu de um plano principalmente da teoria para tentativas de aplicações práticas, que dariam origem no futuro aos chamados algoritmos evolucionários, que serão explicados posteriormente.

Também neste período foi publicado por Turing um artigo chamado “*Computing Machinery and Intelligence*” (Máquinas Computacionais e Inteligência) onde propôs o Teste de Turing, que foi um grande marco. Neste, uma pessoa, um computador e um juiz são mantidos em salas separadas e a comunicação só pode ser realizada por texto impresso. A máquina e o ser humano manterão uma conversa entre si. O juiz deverá tentar distinguir entre a máquina e o homem. Turing questionava se poderia a máquina imitar o pensamento humano e confundir o juiz. Esse teste ficou conhecido por Jogo da Imitação e é título do filme de 2014 sobre a vida do autor (ALONSO, 2008). Outro artigo importante da época sobre esses ensaios práticos de IA é o trabalho de Claude Shannon, também de 1950, sobre como programar uma máquina para jogar xadrez com cálculos de posição simples, mas eficientes.

No ano seguinte, 1951, foi criada a Calculadora *Stochastic Neural Analog Reinforcement Calculator (SNARC)* por Marvin Minsky, que era de operações matemáticas simulando sinapses, ligações entre neurônios. Considerado o primeiro neurocomputador do mundo, ela operava a partir de um ponto de partida ajustando os pesos automaticamente. Já em 1952, foi Arthur Samuel que criou um jogo de damas no IBM 701 que consegue melhorar por conta própria e vira um desafio à altura de jogadores amadores (A HISTÓRIA..., 2018).

Um grande feito aconteceu em 1956, quando houve a Conferência de Dartmouth nos Estados Unidos da América (EUA), onde o campo de pesquisa foi batizado de Inteligência Artificial (IA) por McCarthy e a máxima do setor foi definida: “A ideia é que cada aspecto de aprendizado ou outra forma de inteligência possa ser descrita de forma tão precisa que uma máquina pode ser criada para simular isso”.

Esse evento foi considerado o marco zero do conceito atual de IA e os principais nomes de cientistas foram Alan Turing, Marvin Minsky, John McCarthy, Allen Newell e Hebert Simon, todos unidos com a missão de desenvolver máquinas inteligentes.

No ano seguinte, foi Frank Rosenblatt que apresentou o *Perceptron*, um algoritmo, com nome de personagem de *Transformers*, que é uma rede neural de uma camada que classifica resultados e começou como uma máquina chamada *Mark I* (VIEGAS, 2017).

Em seguida, em 1958, John McCarthy desenvolveu a linguagem de programação *List Processing (LISP)*, que se tornou uma das principais linguagens para se trabalhar com IA nas décadas seguintes, servindo de inspiração até hoje.

E, finalmente, foi no último ano desta década inspiradora, 1959, que surgiu o termo *machine learning*, descrevendo um sistema que dá aos computadores a habilidade de aprender alguma função sem serem programados diretamente pra isso. Basicamente, significa alimentar um algoritmo com dados, para que a máquina aprenda a executar uma tarefa automaticamente.

Portanto, essa década foi realmente incrível e só não se obteve resultados práticos ainda melhores porque não se dispunha ainda de tecnologia suficiente para aplicação prática.

Já na seguinte década, em 1962, um cientista da computação chamado John Holland introduziu o conceito de algoritmos genéticos, que estabeleceu as bases para a evolução dos algoritmos evolucionários, segundo os quais quanto melhor um indivíduo se adaptar ao seu meio ambiente, maior será sua chance de sobreviver e gerar descendentes. Este é o conceito básico da evolução genética biológica.

Sendo assim, os algoritmos genéticos de Holland foram inspirados na teoria de seleção natural de Darwin. Ele propôs que uma população de soluções potenciais para um problema pudesse evoluir ao longo do tempo por meio de um processo de seleção, cruzamento e mutação. Essa abordagem permitiu a exploração de um vasto espaço de busca, possibilitando a descoberta de soluções (ALGORITMOS..., [20--]).

Nessa mesma década, foram ocorrendo avanços na capacidade dos computadores, tornando possível a aplicação e desenvolvimento do método. As primeiras implementações de algoritmos genéticos visavam introduzir pequenas mutações em sistemas e observar se haveria melhorias significativas.

Ainda nos anos 60, os primeiros sistemas inteligentes de tradução de texto começaram a ganhar relevância, usados principalmente para traduzir conteúdos escritos em russo relacionados ao programa espacial Sputnik.

E foi em 1964 que foi criado pelo matemático Joseph Weizenbaum, pesquisador do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (*MIT*), o primeiro *chatbot* do mundo, *ELIZA*, com a função de realizar conversas de forma automática comandadas por dados e algoritmos baseados em palavras-chave como um psicanalista, criado para ser um psicólogo virtual.

Finalizando tal década, em 1969, é demonstrado o *Shakey*, primeiro robô que unia mobilidade, fala e certa autonomia de ação. Ele funcionava, apesar de ter muitas falhas e ser muito lento.

Um avanço significativo ocorreu na década de 1970, quando John Koza introduziu a programação genética, um programa computacional que utiliza os algoritmos genéticos permitindo a expansão com novas possibilidades para que tais algoritmos enfrentassem tarefas mais complexas e versáteis (GABRIEL; DELBEM, 2008).

Outro feito relevante da época foi na Universidade de Stanford, em 1972, com o *MYCIN* (sistema especializado no diagnóstico de doenças do sangue e medicamentos prescritos). Ele era baseado em uma máquina de inferência, programada para ser um espelho lógico do

raciocínio humano. Ao inserir os dados, o mecanismo fornecia respostas de alto nível de especialização.

Na segunda metade dos anos 1970, houve o chamado inverno da IA, uma fase de poucas novidades, cortes nos investimentos e baixa atenção ao setor, muito por conta ainda da falta de tecnologia para resultados convincentes da aplicação da IA e por estranhamento de algo ainda bastante desconhecido.

Já no início dos anos 1980, esse panorama mais sombrio mudou por meio de Edward Feigenbaum, que demonstrou os sistemas especialistas, *softwares* que realizam atividades complexas e específicas de um campo, imitando o raciocínio humano, mas bem mais veloz e com base de conhecimento gigante. Esses sistemas aproximaram a IA do mundo corporativo e vários setores percebem sua utilidade promissora.

Foram nos anos 1990 que ocorreram avanços adicionais nos algoritmos evolucionários, com a introdução da otimização por enxame de partículas por James Kennedy e Russell Eberhart. Eles se inspiraram no comportamento coletivo de bandos de pássaros e cardumes de peixes, nos quais os indivíduos se comunicam e cooperam para encontrar a melhor solução. A otimização por enxame de partículas criou o conceito de inteligência coletiva, dando uma nova dimensão aos algoritmos evolucionários. Paralelamente a isso, aconteceu também a evolução tecnológica dos computadores, permitindo que as redes neurais criassem uma perspectiva de grande avanço da IA.

Só que o sucesso não aconteceu porque os investimentos foram mal planejados, além da adoção de uma linguagem de programação sem grande adesão chamada *Prolog*. Outro agravante é que ainda nesta época as ideias eram maiores do que o poder de execução das *Central Processing Units (CPUs)*. Isso tudo fez com que houvesse o segundo pequeno inverno da IA, na primeira metade dos anos 1990.

A segunda metade dos anos 1990 foi marcada pela explosão da internet comercial. As redes se aproveitaram da IA pra desenvolver sistemas de navegação e também de classificação. São criados programas que pesquisam a rede automaticamente e classificam resultados, como o protótipo do Google, que nasceu nesse período.

Um grande feito que chamou a atenção do mundo foi em 1997, quando a máquina derrotou o homem em um jogo de xadrez. O campeão soviético Garry Kasparov foi derrotado em uma das rodadas pelo computador *Deep Blue*, da IBM, em partidas que repercutiram ao redor do mundo. O *Deep Blue* utilizava um método que analisava possibilidades, previa respostas e sugeria o melhor movimento.

Já na seguinte década, em 2002, a *iRobot* lançou o primeiro *Roomba*. Esse assistente de limpeza autônomo tem pré-configurações e sensores de posicionamento trabalhando juntos. Esse autômato, constantemente aperfeiçoado, está cada vez mais presente nos lares ao redor do mundo.

Foi a partir de 2008 que o processamento de linguagem explodiu e o Google lançou o recurso de reconhecimento de voz no iPhone para pesquisas. Em seguida, em 2011, a Apple lançou uma assistente virtual, a Siri, que responde perguntas e faz pesquisas com comandos de voz. Ela é seguida pela Alexa, da Amazon, que explodiu em popularidade; a Cortana, da Microsoft, e o Google Assistente.

Ainda em 2011, a IBM criou *Watson*, um supercomputador e plataforma de IA que venceu os melhores jogadores num *game show* televisivo de adivinhação chamado *Jeopardy*. Sua aplicação se estendeu a áreas como saúde, direito, artes, reconhecimento de imagem, dentre outras.

A Universidade do Vale do Silício, a *Udacity*, surge neste ecossistema inovador dos Estados Unidos em 2011, após o experimento do professor da Universidade de Stanford, Sebastian Thrun, ao lado de Peter Norvig, em que eles ofereciam um curso online e gratuito sobre “Introdução à Inteligência Artificial”. O sucesso e a procura foram enormes, dando origem à *Udacity*.

Em 2012, o Google X (laboratório de pesquisa do Google) foi capaz de fazer uma máquina reconhecer gatos em um vídeo, ou seja, uma máquina aprendeu a distinguir algo. E, em 2016, a *AlphaGO* (IA do Google especializada em jogos *Go*) venceu a campeã europeia Fan Hui e a campeã mundial Lee Sedol. O jogo *Go* possui muito mais variações do que o xadrez do

Deep Blue. Agora não se tratava mais de regras de codificação para sistemas especialistas, mas de permitir que os computadores descubram, por meio de correlação e classificação, com base em uma grande quantidade de dados, as suas próprias respostas.

Outro fato notório foi em 2014, quando um *chatbot* chamado *Eugene Goostman* conseguiu vencer o teste de Turing e convenceu jurados durante uma conversa por escrito de que ele, um programa, era na verdade um humano.

Não menos notável é o ChatGPT, uma das aplicações de IA mais populares. Desenvolvido pela *OpenAI*, utiliza a tecnologia de processamento de linguagem natural para interagir com os usuários de maneira conversacional. Essa tecnologia tem sido usada em várias áreas, desde assistentes virtuais e suporte ao cliente até *chatbots* em plataformas de mídia social.

A IA envolve o uso de dispositivos e *softwares* cada vez mais capazes de imitar o comportamento e o pensamento humano na tomada de decisões e execução de tarefas. Funciona por meio da análise de um grande volume de dados e identificação de padrões, feito por meio de diversas tecnologias. São exemplos práticos da IA no cotidiano os assistentes de voz, reconhecimento facial, algoritmo de redes sociais, entre outros (O QUE..., [20--]).

Hoje, da maneira como é vista, a IA é uma ciência com mais de sessenta anos, voltada ao desenvolvimento de máquinas e programas de computador capazes de reproduzir comportamentos, atitudes, raciocínios e tarefas humanas. Ela tem um aspecto multidisciplinar, envolvendo matemática, estatística, probabilidades, neurobiologia computacional, ciência da computação, dentre outras ciências, todas tentando imitar a cognição humana. Sua aplicação é ampla, como na medicina, artes, *marketing*, segurança, comunicação, dentre muitas outras.

CAPÍTULO 1:

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E MÚSICA (IAM)

As primeiras experiências de Inteligência Artificial e Música (IAM) datam dos anos 1950 e 1960, época em que os computadores começaram a ser usados para gerar composições musicais. Um dos pioneiros foi o compositor Iannis Xenakis, utilizando computadores para criar músicas complexas baseadas em algoritmos matemáticos. Outro marco foi o trabalho com música algorítmica em 1955 de Lejaren Hiller na Universidade de Illinois, que realizou um experimento de composição musical por meio de um processo algorítmico. Trata-se de um método de composição automatizada que transforma elementos musicais na forma de algoritmos, reunindo aspectos da ciência da computação e composição musical e é a base da IAM.

Nesse processo de surgimento da IAM, foi em 1951 que Alan Turing programou um computador para reproduzir melodias tradicionais. Já em 1960, R. Kh. Zaripov, um pesquisador russo, publicou o primeiro artigo mundial sobre composição algorítmica de música usando o computador Ural-1, com o título *An Algorithmic description of process of music composition* (FERNÁNDEZ; VICO, 2013).

Já em 1965, o inventor Ray Kurzweil apresentou uma peça de piano criada por um computador que era capaz de reconhecer padrões em várias composições, analisar e usá-los para criar novas melodias. Ele inventou seu primeiro programa de computador aos quinze anos de idade e foi responsável pela criação de muitos projetos que envolviam reconhecimento de padrões musicais por computador. Foi também o inventor do programa K250 em 1983, considerado o primeiro instrumento musical eletrônico a emular o som complexo de um piano, além de muitos outros instrumentos de orquestra virtualmente (ZULIĆ, 2019).

A primeira Conferência Internacional de Música por Computador (ICMC) ocorreu no ano de 1974 na Universidade Estadual de Michigan, e ocorre anualmente até os dias atuais, reunindo pesquisadores, professores e estudantes com publicações que apresentam ideias e inovações desenvolvidas em estúdios e laboratórios, criando uma síntese entre ciência e arte na computação musical.

Um nome que se destaca nesse desenvolvimento é David Cope, que desenvolveu a IA *Experiments in Musical Intelligence (EMI)* em 1981 como resultado de um bloqueio criativo. Primeiramente, foi criado para compreender o estilo musical do compositor e para ter a habilidade de localizar as ideias de seus trabalhos, podendo prever uma próxima nota que fizesse sentido no contexto da peça. Porém, o resultado foi um programa que compunha no estilo de diversos compositores clássicos. Apesar de o resultado seguir corretamente as regras de condução de vozes, contraponto e harmonia, a música gerada soava sem vida e energia.

Cope usou então o conceito de recombinação, um método para produção musical em que se junta músicas já existentes em novas sucessões lógicas. Por exemplo, todo e qualquer bom livro em português é construído a partir da recombinação das vinte e três letras do alfabeto. De modo similar, a maioria das grandes obras da música ocidental existe como recombinações das doze alturas da escala temperada e seus equivalentes nas oitavas. O segredo não está em criar novas letras ou notas, mas sim em dar sutileza e elegância na recombinação e, para que haja boas recombinações, é necessária muita análise musical.

O *software EMI*, criado em 1984 como um parceiro interativo para o autor, trata intervalos como elementos linguísticos, usando métodos similares à música de Varèse e Messiaen. Cope, o autor, acredita que a música dos algoritmos é tanto dos humanos quanto aquela composta pelos compositores que se tem como inspiração. Um objetivo da *EMI* é ajudar na compreensão mais completa sobre a essência de estilo (COPE, 1987).

Pesquisadores têm explorado a composição algorítmica por muitos anos (HILLER, 1970; 1981; BOLOGNESI, 1983. DODGE; JERSE, 1985. LOY, 1989). Um trabalho de 1990 produziu uma série de peças curtas com a IA *Incidental Music Generator number one (IMG/I)* que, apesar de desprovidas de semântica, possuem estrutura sintática. O intuito dessa e muitas outras IAs de música é possibilitar que leigos na música possam produzir peças, indicando alguns parâmetros, nada muito complexo. A *IMG/I* trabalha com três deles: Estilo, Duração e Andamento. No programa, há 10 estilos. A duração é dada em segundos e o andamento é em batidas por minuto. Além desses três, para aqueles que querem descrições mais detalhadas, há a escolha de tonalidade, otimização, *debug* e sintetizador/*setup*, canais MIDI, transposição de oitava, energia (fatores rítmicos), previsibilidade, volume, além de outros (LANGSTON, 1991).

A *IMG/1* produz música que não está no nível de ser executada em um palco, mas que pode ser usada como incidental ou como de plano de fundo.

Já em 1988, foi criado o *CHORAL*, programa que harmoniza e aplica análise schenkeriana de corais no estilo de Bach. O conhecimento teórico de assuntos como contraponto, harmonia e orquestração por compositores é tão grande que computadores não são capazes de tê-los todos. Mesmo a aparentemente simples tarefa de representar algoritmicamente as características do estilo dos corais de Bach na realidade beira o infactível. Uma incumbência mais simples é construir um programa que compõe apenas em um estilo.

Em 1988, existiram tentativas com estilos simples, como melodias folclóricas ou as duas primeiras frases de corais de Bach. Porém, é difícil impedir que o programa introduza traços que distorcem o estilo desejado. Foi criado, então, o *Backtracking Specification Language (BSL)*, uma linguagem lógica eficiente que serviu para a codificação do *CHORAL*.

Um sistema musical ambicioso tem que lidar com o problema de ter representada uma grande quantidade de conhecimento musical complexo, o que está longe de ser conquistado. Outra dificuldade é programar o que é chamado de “talento” do compositor: sua capacidade de fazer escolhas acertadas. Dificilmente é possível fazer o programa não escolher o “correto”, porém não musical.

O *CHORAL* produz um acorde por vez. Ele recebe um código que representa uma melodia e gera uma harmonização em partitura, a qual geralmente demora de três a trinta minutos (embora algumas levem horas). As vozes ficam fora do alcance. Um uso de quinta paralela é feito da maneira que é permitida nas regras de Bach. O nível de competência do programa é aceitável, semelhante a um estudante de música talentoso que estudou os corais de Bach (EBCIOĞLU, 1988).

De 21 a 24 de junho de 1989, ocorreu o “*The European Workshop on Artificial Intelligence and Music*” em Genova, na Itália. Nele, *experts* em IA na música se conheceram e discutiram sobre suas pesquisas. Um interessante *software* apresentado é o *OSCillator ARTist (OSCAR)*, capaz de ouvir um humano e gerar estruturas sonoras em tempo real. A interessante

performance de C. Canepa utiliza materiais gerados por um computador que analisou as regras da Oferenda Musical de Bach (BAIED; BLEVINS; ZAHLER, 1993).

Muitos algoritmos de IA são bioinspirados, ou seja, simulam funcionamentos biológicos como sistemas imunológicos, redes neurais ou a teoria da evolução de Darwin.

Depois do sucesso dos Algoritmos Genéticos (AGs), um outro paradigma de computação bioinspirada vem sendo explorado: os Sistemas Imunológicos Artificiais (SIAs). Os SIAs são sistemas adaptativos baseados no sistema imunológico natural e estão sendo amplamente utilizados em problemas de otimização, busca, reconhecimento de padrões, segurança de redes, entre outros. Em SIA, um problema com solução desconhecida é tratado como antígeno, enquanto potenciais soluções são modeladas como anticorpos. Há várias implementações de sucesso, como a *aiNet*.

Essa ferramenta, originalmente proposta para agrupamento de dados, foi aplicada neste trabalho em um método de síntese sonora. Os sons produzidos são chamados de imunológicos: foram gerados sons-anticorpo para reconhecer um conjunto de sons-antígeno, produzindo, assim, variantes timbrísticas com as características desejadas. A *aiNet* forneceu manutenções da diversidade e um número adaptável de sons-anticorpo resultantes, de modo que o resultado estético pretendido foi alcançado, evitando a definição formal dos atributos timbrais.

A rede neural de Kohonen é uma grade de neurônios que constitui um sistema auto-organizável. Também é conhecida como mapa auto-organizável ou *Self-Organizing Map* (*SOM*). Ela é baseada em observações do comportamento cerebral que reúne funções correlatas em regiões próximas no cérebro. O principal objetivo da *SOM* é transformar um padrão de sinal incidente n -dimensional em um mapa discreto m -dimensional (normalmente uni ou bidimensional) e realizar esta transformação adaptativamente de uma maneira topologicamente ordenada. Desta forma, um mapa topográfico dos dados de entrada é criado, sendo possível abstrair características intrínsecas neles contidas de acordo com as suas localizações espaciais.

Um método de síntese sonora utilizando a *SOM* foi desenvolvido a partir das ideias iniciais desenvolvidas neste projeto. A mesma codificação foi utilizada, resultando em igual

espaço de busca; apenas a técnica utilizada para se atingir o resultado final é outra (CAETANO; MANZOLLI; VON ZUBEN, 2005).

Atualmente, um dos maiores usos da IA é em plataformas de *streaming* como o Spotify, que calcula quais as melhores músicas a serem sugeridas para cada usuário com base no que é ouvido por ele e no que o aplicativo quer que ele ouça (WATANABE, 2021).

A evolução tecnológica foi acontecendo e, já em 2016, a Sony, através da IAM, compôs uma música ao estilo dos Beatles, chamada “*Daddy’s Car*” que foi feita com a ajuda do compositor francês Benoit Carré, conferindo-lhe um toque humano. No ano seguinte, Taryn Southern emprestou a sua voz ao *Amper*, uma plataforma de IA, para lançar o seu primeiro álbum, intitulado “*I AM AI*”, criado quase totalmente pela plataforma e muito bem aceito pela crítica. Assim, o mundo percebeu definitivamente o grande potencial desta tecnologia.

Atualmente, a IAM pode estar presente em todas as etapas da indústria musical e em grande evidência. O assunto de muitas discussões hoje em dia é o uso da IAM na etapa de composição. Os compositores agora podem contar com assistentes virtuais que geram melodias, harmonias e até letras com base em parâmetros definidos. Isso interfere no processo criativo e gera novas formas de expressão musical, bem como discussões sobre o processo autoral. *Softwares* de edição de áudio utilizam algoritmos de IA para aprimorar a qualidade do som e remover ruídos, por exemplo. Em seguida, alguns usos da IAM na atualidade serão destacados:

O serviço de *streaming* Spotify, por exemplo, utiliza tecnologia para criar *playlists* específicas para seus usuários, de acordo com suas preferências na plataforma. Já o Youtube utiliza a IA para sinalizar conteúdos com direitos autorais e automatizar a monetização dos anúncios.

As grandes empresas de tecnologia estão se envolvendo no nicho da produção e criação de músicas. Equipes do Google, por exemplo, publicam frequentemente artigos e recursos para a comunidade de desenvolvedores. Recentemente, um de seus grupos de pesquisa lançou uma série de *plugins* (programa usado para adicionar funções a outros maiores) de IAM com código aberto, chamando a iniciativa de *Magenta*. Eles utilizam técnicas de aprendizagem de máquina de ponta para a geração de músicas. A coleção de *plugins* também é compatível com o *Ableton*

Live, um programa de áudio digital bastante popular, tornando fácil a adaptação aos trabalhos de músicos.

Uma IAM importante é o *Jukebox*, desenvolvido pela *OpenAI*, uma das mais recentes e proeminentes iniciativas de geração de música. Ele usa a IA quando fornecido com gênero, artista e letra como entrada para produzir uma nova música.

Outra ação bem atual da IAM é a masterização de música, o que antes era feita exclusivamente por engenheiros de áudio, que operavam *hardware* de áudio de alta qualidade em um ambiente de estúdio adequado, sendo um processo demorado e com altos custos de produção. Por meio do uso da IA, a masterização pode tornar-se acessível a um maior número de pessoas, porém, sua qualidade ainda é questionável. Um exemplo desse tipo de IAM é o Moises. Os usuários só precisam enviar uma música para que a plataforma aprenda as características de áudio e carregar a faixa final, que será masterizada. Tal processo funciona de forma autônoma e não é necessário nenhum conhecimento de engenharia de áudio. Em poucos segundos, o usuário pode baixar uma música pronta para ser tocada em qualquer dispositivo com a máxima qualidade, desde em dispositivos móveis até estéreos de alta-fidelidade e casas de shows.

Um outro exemplo de uso recente da IAM foi a *Anghami*, plataforma de *streaming* dos Emirados Árabes Unidos (EAU) com um programa-piloto de geração de música por IA que teve como foco a Copa do Mundo do Catar. Basicamente, os usuários preencheram alguns dados simples: para qual time torciam durante a Copa e qual clima gostariam para a música, se de celebração, relaxamento etc. Um algoritmo, então, cruzava as respostas com os gêneros e músicas mais ouvidos por essas pessoas para elaborar uma nova faixa totalmente sob medida para o seu gosto, incluindo tudo: letra, acordes, arranjos e uma voz artificial que encaixava o mais perfeitamente possível na música.

E o programa de IAM *Boomy*, lançado em 2019, permite o emprego de bases pré-gravadas e qualquer usuário pode criar músicas que passarão por um pequeno processo de revisão.

Já o *Morpheus* é um projeto de pesquisa de Dorien Herremans e Elaine Chew na *Queen Mary University* de Londres. O sistema usa uma abordagem de otimização para transformar peças de modelo existentes em novas com maior complexidade. Peças compostas por ele foram tocadas em concertos em Stanford e Londres.

À disposição há também o *Computer Music Project* da *Carnegie Mellon University (CMU)*, que desenvolve música de computador e tecnologia de performance interativa para melhorar a experiência musical humana e a criatividade. Este esforço interdisciplinar se baseia em teoria musical, ciência cognitiva, inteligência artificial e aprendizado de máquina, interação homem-computador, sistemas em tempo real, computação gráfica e animação, multimídia, linguagens de programação e processamento de sinal.

Por sua vez, no *Riffusion*, há uma rede neural projetada por Seth Forsgren e Hayk Martiros em 2022, com código aberto, ou seja, qualquer pessoa pode baixá-lo e usar. É um dos vários modelos derivados da *Stable Diffusion*, IA geradora de imagens.

E a IAM chamada *Melobytes* é uma plataforma online que provê uma grande quantidade de ferramentas criativas de IAM para que se explore os limites de arte e música, desenvolvendo conteúdos que podem servir de inspiração para outras criações.

Destaca-se também a *Soundraw*, IAM que surgiu a partir de outra, *Ecret*. Foi criada por Daigo Kusunoki e permite tanto a composição de músicas originais sem direitos autorais quanto a criação de música pelos usuários por meio da seleção de diferentes comandos. *Softwares* estão sempre sendo atualizados por seus desenvolvedores. A plataforma sugere o uso para acompanhamento de vídeos ou imagens, apresentações, comerciais ou vídeos promocionais e música de plano de fundo.

O uso da IAM na educação musical permite que um estudante usufrua de inúmeras ferramentas computacionais para aprendizado de assuntos como, por exemplo, progressões harmônicas, que são estudos das simultaneidades na música. Os compositores podem empiricamente fazer testes de criação em poucos minutos, enquanto no passado, seria necessário muito tempo para isso. A cada dia surgem novas ferramentas de IAM e esse caminho

vem se expandindo de maneira bastante acelerada nos últimos anos, dando aos musicistas infinitas possibilidades de criação antes inimagináveis (KURZWEIL, 1990).

CAPÍTULO 2:

TENTATIVAS DE FAZER MÚSICA COM IAM

Na intenção de investigar a capacidade da IA de compor músicas, independente do estilo musical, diversas ferramentas da atualidade foram utilizadas em dois computadores, um MacBook Pro e um HP 256 G8 com Windows 11.

Inicialmente, o mais popular dos *softwares*, o famoso ChatGPT, criado pela *Open AI*, foi empregado na versão 3.5, por meio de comandos em inglês por se entender que haveria uma resposta mais complexa utilizando sua língua original e na qual há maior armazenagem de informações. Então, o primeiro comando foi: *“Create a musical score for contemporary music”* (OPENAI, 2023a). A resposta do ChatGPT foi um passo a passo detalhado e bastante genérico para composição de uma peça de música mista contemporânea, embora o esperado fosse uma resposta fosse mais criativa, específica e original.

A seguir, outra tentativa foi realizada, por meio de um novo comando ao Chat: *“Create an electronic experimental music score, with continuous form of about three minutes and use music notation software to transcribe the musical ideas into a readable score”*.

A resposta obtida foi:

As an AI text-based model, I cannot directly create or transcribe music notation. However, I can provide you with a detailed outline for creating an electronic experimental music score with continuous form and offer suggestions for utilizing music notation software to transcribe your ideas (OPENAI, 2023b).

E, em seguida, deu um passo a passo genérico para criação de música contemporânea, mas sem a descrição de cada um. Alguns dos itens foram: *“Establish the concept and mood”* e *“Explore sonic possibilities”*.

Na terceira tentativa, foi pedido: *“Create an electronic experimental music score, with continuous form of about three minutes and use text to describe the music”*.

Em resposta, quase que instantaneamente foi gerado o seguinte texto:

‘Ethereal Oscillations’ is an experimental electronic composition that embraces sonic exploration and unconventional techniques. This three-minute piece aims to create an immersive and ever-evolving sonic journey, blurring the boundaries between traditional musical elements. The composition begins with a gentle, undulating drone that slowly emerges, enveloping the listener in a mesmerizing ambient atmosphere. Layers of ethereal textures gradually intertwine, creating a complex sonic landscape filled with delicate harmonics and subtle fluctuations. As the piece progresses, fragmented melodic motifs emerge and dissolve, appearing like fleeting whispers in the sonic space. These motifs, generated through algorithmic processes and unconventional scales, add an unpredictable and otherworldly character to the composition. The rhythmic foundation in ‘Ethereal Oscillations’ is not based on traditional beats, but rather on intricate patterns of pulsating and shifting rhythms. Syncopated elements, irregular accents, and polyrhythmic structures create an intriguing and constantly shifting sense of time. Throughout the composition, digital effects and processing techniques are employed to transform and manipulate the sounds in real-time. Granular synthesis, spectral processing, and live sampling add layers of complexity, resulting in dynamic and evolving soundscapes. The stereo field is skillfully utilized to enhance the spatial experience. Sounds move and pan across the sonic canvas, creating a sense of movement and immersion. Spatialization techniques, including automated panning and spatial audio processing, provide an expansive and enveloping sonic environment. ‘Ethereal Oscillations’ does not adhere to a traditional song structure. Instead, it follows a continuous form, seamlessly transitioning from one section to another, creating an uninterrupted sonic flow. The transitions are fluid and organic, achieved through careful blending of sonic elements and gradual changes in textures, dynamics, and tonalities. This experimental composition encourages listeners to embark on a sonic exploration, transcending conventional musical boundaries. It invites them to immerse themselves in an abstract and evocative soundscape, where the boundaries between organic and synthetic, structured and chaotic, and familiar and otherworldly are blurred (OPENAI, 2023c).

Dessa maneira, o resultado foi melhor porque o ChatGPT conseguiu elaborar um texto que descreve uma peça musical detalhada de qualidade, mencionando, por exemplo, seções, fundamentos rítmicos e motivos melódicos. Também detalhou linguagem teórica musical e realizou descrições subjetivas. Houve ainda a tentativa de classificar elementos sonoros com palavras extramusicais.

Em um esforço para obter um melhor resultado, com uma composição de resultado sonoro mais satisfatório, pediu-se ao ChatGPT, por meio do *software Csound*, para desenvolver a mesma ideia gerada por ele, através do seguinte comando: “*Create the code of ‘Ethereal Oscillations’ for Csound*”.

A resposta foi:

Adjust the parameters such as the waveform, frequency, amplitude, and output level to achieve the desired ethereal textures and oscillations. Replace ‘[duration]’ with the desired durations of the composition in seconds. Please note that Csound is a powerful and flexible sound synthesis language, and this code provides a starting point. You can expand upon it by adding more instruments, effects, and processing techniques to further develop your experimental electronic composition (OPENAI, 2023d).

Esse retorno continha um simples oscilador, que é um gerador de onda sonora e sem parâmetros como entrada. Assim, foi preciso definir amplitude, frequência e forma da onda simples. Na partitura o oscilador era continuamente acionado, com a duração em segundos estabelecida pelo autor deste trabalho. Também foi muito genérico e continha diversos erros de código na linguagem do programa, impossibilitando seu funcionamento. Enfim, mais uma vez o resultado foi insatisfatório, musicalmente falando.

Novamente, buscou-se suprimir os problemas supracitados, requisitando-se para ele: “*Could you fill the missing parameters of this code?*”, referente ao código anterior. E a resposta foi: “*Certainly! Here’s the modified code with the missing parameters filled in.*”

No entanto, seguiu na resposta exatamente o mesmo código da resposta anterior, com os parâmetros ainda a serem preenchidos.

Como nenhum resultado sonoro foi obtido com o *Csound* mesmo lhe pedindo para mais especificidade, optou-se por pedir que o ChatGPT fizesse música com o *Pure Data (PD)*. Então, a primeira tentativa neste sentido foi: “*Create ‘Ethereal Oscillations’ for PD.*”

A resposta foi:

Creating a complete composition based on such a detailed description would be beyond the scope of this text-based platform. However, I can provide you with a general outline and a set of components that you can use as a starting point to create your own "Ethereal Oscillations" composition in Pure Data (OPENAI, 2023e)

Seguiu-se um passo a passo contendo erros, em que o ChatGPT descreveu como iniciar um *patch* no *PD* e sugeriu o uso de osciladores simples, geradores de ruído e filtros, além de modulações que utilizam outros osciladores para gerar números na entrada do principal, tanto para a criação do drone ondulante quanto para gerar as texturas etéreas, além do uso de envelopes sonoros.

Para a criação dos motivos melódicos algorítmicos, foi sugerido o uso de algoritmos matemáticos ou estruturas de dados, além de escalas não convencionais e afinações microtonais para obter melodias de outro mundo. Recomendou-se o uso de aleatorização e operações

baseadas em acaso para dar imprevisibilidade aos motivos. Para criar os ritmos pulsantes e inconstantes, o ChatGPT propôs o uso de geradores de padrão, além de acentos irregulares, polirrítmicos e de flutuações de andamento. Foi levantado o uso de *delays*. Para manipulação sonora em tempo real, sugeriu a aplicação de efeitos como *reverb*, *delay*, processamento granular e *loops* em tempo real, além de usar *sampling* para mais camadas de complexidade.

Para espacialização e movimento, indicou-se a criação de uma sensação de movimento e imersão no plano *Stereo* com *panning* e efeito *Doppler*. Sobre a forma contínua e transições, foi proposto que, apesar de fluida, a peça possuísse partes com transições muito graduais, com *fading*, *crossfade*, mudança de dinâmica, de tonalidade e texturas que se transformam. A sugestão de haver tonalidade na peça de certa forma contrastou com os inúmeros tratamentos eletroacústicos.

O resultado também foi muito geral, justamente na última frase que ele utilizou para concluir, demonstrou que ele não teve a especificidade desejada. Antes que isso lhe fosse requisitado, foi pedido: “*Create a code for ‘Ethereal Oscillations’ in Pure Data*”.

A resposta foi: “*Certainly! Here's an example code for a Pure Data patch that incorporates some of the elements described in ‘Ethereal Oscillations’*”.

Seguiu-se um código cuja aplicação no aplicativo era incerta. Em seguida, a orientação do ChatGPT foi que o código era apenas uma versão inicial, a qual poderia ser alterada e acrescida de acordo com a criatividade de cada um. Porém, era justamente isso que o autor deste trabalho queria que ele fizesse. Então, tentou-se pedir ao ChatGPT que ele explicasse como aplicar esse código no *PD* com duas perguntas: “*How do I play this code in PD?*” e “*How do I paste the code into the blank canvas area in PD?*”.

As respostas foram simplesmente orientando a copiar o código e colar no *software*, sem especificar onde, ou a colar o código todo em um único objeto do *PD*, o que não funcionou.

Então, solicitou-se: “*Create a complete guide based on*” na resposta da tentativa 1 com *PD*.

A resposta foi semelhante, porém adicionou alguns detalhes, ainda mantendo-se genérica. Por isso, foi pedido que ele focasse em apenas um elemento da composição: *“Describe precisely the creation of the undulating drone of ‘Ethereal Oscillations’”*.

O primeiro passo descrito foi o de adicionar um oscilador para o tom simples do drone. Após, pediu para parâmetros serem aplicados nas entradas do oscilador. O exemplo do ChatGPT tinha um erro: segundo ele, a primeira entrada do oscilador determina a forma de onda. No entanto, na verdade, a primeira entrada do oscilador é a frequência em hertz e a única onda que ele produz é a senoide. Em seguida, sugeriu o uso de um filtro passa-baixa para a ondulação, o que não teria função em sons tão simples. Depois, o ChatGPT sugeriu o uso de modulação de amplitude, que é um oscilador modulando a amplitude de outro, e modulação de frequência, que é um oscilador modulando a frequência de outro. Propôs então que se ajustasse a amplitude de ondas com a multiplicação, além de mudar parâmetros para obter efeitos diferentes em tempo real.

Além desse elemento, solicitou-se também: *“Describe precisely the layering of Ethereal Textures of ‘Ethereal Oscillations’”*.

A resposta foi semelhante à anterior: simples quando comparados a trabalhos de compositores de música eletroacústica. Até poderiam ser utilizados em composições que tivessem outra fonte de interesse, mas a produção dessa AI não foi satisfatória.

Em seguida, foi pedido: *“Create a complex Csound code”*.

A resposta foi:

Creating a complex Csound code is a broad task, as Csound can be used to generate a wide variety of audio and music compositions. Below, I'll provide an example of a complex Csound code for generating a simple polyphonic synthesizer with multiple voices and effects. This code is for educational purposes, and you can use it as a starting point to explore more complex Csound programming (OPENAI, 2023f).

Foi gerado um código cuja tentativa deu errado, pois o ChatGPT foi treinado com conteúdo da internet, que é majoritariamente formado por trabalhos e tutoriais simples sobre o *Csound*. Isso fez com que seu código também fosse simples e com três erros que foram corrigidos pelo orientador do autor deste trabalho, prof. Dr. Fernando Iazzetta, mas o código era simples demais para ser aproveitado.

This code defines a polyphonic synthesizer with two voices, each playing a simple waveform (in this case, an oscillator) and applying an amplitude envelope and a Moog low-pass filter. The score section defines the sequence of notes to be played. Csound is a powerful tool for audio synthesis, so you can create much more complex instruments and effects by extending this code. You can experiment with various oscillators, filters, and modulation techniques to create more intricate and sophisticated soundscapes (OPENAI, 2023f).

Depois das tentativas com o ChatGPT, seguiu-se tentando fazer composição com o *Jukebox*, IA da mesma empresa do ChatGPT que gera música nova quando alimentado com informações ou a partir do zero.

Foi solicitada ajuda ao Yago Cano, analista de sistemas, para instalar o *Jukebox* no computador do autor. Para isso, foram baixadas a linguagem de programação *Python* e a distribuição de linguagem Anaconda. Instalou-se a IA do *Jukebox*, mas, antes de tudo, Yago descobriu um site que o rodava. Passou-se, então, a utilizá-lo.

O *Jukebox* apresenta dois modos: o *Primed*, em que uma música é continuada com o percentual de similaridade ajustável; e o modo ancestral, em que a música é gerada sem referências anteriores. O teste foi feito com os seguintes parâmetros

Nome	<i>Jukebox</i>
Modo	<i>Primed</i>
Arquivo de referência	23 primeiros segundos da composição do autor, Memórias do Guarujá, com voz e piano aberto
Duração	70 segundos
Artista de referência	Igor Stravinsky
Gênero de referência	<i>Avant-Garde</i>
Porcentagem de semelhança com arquivo de referência	50%

Tab. 1 – Parâmetros de pesquisa no *Jukebox*. Elaboração própria.

Ocorreu um erro, pois o site do *Jukebox* requeria a versão 2.0.1 do *software torch* mas só possuía a 1.13.1, por isso, desistiu-se dessa tentativa. Não foi possível instalar o programa *Jukebox* por conta do conhecimento limitado do autor acerca de programação.

Desde 23 de junho de 2023, o autor deste trabalho entrou na lista de espera de uso do *software Music LM*. Pelos testes dessa AI feitas por outras pessoas disponíveis na internet, ela tem muito potencial: as músicas geradas são muito interessantes e parecem ser feitas por humanos. Músicas longas que não deixam de ter interesse e os mais variados gêneros são criados por esse *software*. No entanto, até o momento da publicação deste trabalho, o autor ainda se encontra nesta lista de espera.

Outra tentativa foi feita com o *Suno Chirp*, que é um *robot* do *software* de comunicação *Discord*. O *robot* é uma aplicação de *software* feita para simular ações humanas repetidas vezes de maneira padrão como um robô. Ele gera principalmente canções com letras digitadas por quem o utiliza ou criadas pelo ChatGPT. É melhor com estilos musicais específicos.

Foi solicitado que ele produzisse duas músicas eletrônicas experimentais com letra sobre natureza criada pelo ChatGPT. A letra gerada foi a seguinte:

In the forest, whispers of the trees
Melodies of leaves caressed by the breeze
Nature's symphony, a delicate embrace
As sunlight paints the world with grace

Wild and free, the rivers flow
Where the mountains stand tall, they know
In harmony, Earth's song takes flight
A celebration of nature's might (SUNOAI, 2023).

A parte eletrônica ficou embotada e confusa. É possível acessar músicas feitas por outros usuários. Letras muito compridas são cortadas: a duração máxima é de quarenta segundos. O que se pode fazer é continuar uma música já existente.

Outra tentativa foi com o *Whisper*, mas era necessário conhecimento básico da linguagem *Python*, o que o autor deste trabalho não tem.

Em seguida, foi testado o *Mubert*.

Na conversa com Tristan Vassaux, da Guiana Francesa, que ocorreu no *NuSom*, foi usada a IA *Mubert*, que funciona com *prompts*. Tristan usou dois deles: “*Intercultural techno with Armenian flutes*” e “*Chopin-like classical music with accordion*”. Ambos falharam. No primeiro, o gênero foi parcialmente respeitado, mas não se ouve flauta alguma. No segundo, não houve nada parecido com Chopin e o timbre usado não se parece em nada com acordeão. Na realidade, o resultado foi uma música eletrônica de pista.

O autor deste trabalho resolveu, então, testar sozinho o *Mubert*. Em sua seleção de gêneros, testou aqueles que não fizessem parte da música eletrônica de pista: clássica orquestral, neoclássico, *post-rock* e *folk world music*. No primeiro gênero, surgiu um *kick*, uma nota grave no piano e timbres eletrônicos que lembram *pizzicato* de cordas e vozes de um coro. No neoclássico, houve um som eletrônico que remete ao violão e ruídos brancos por vezes filtrados. O *post-rock* foi um gênero que funcionou, com um baixo grave e repetitivo e uma bateria lenta. Depois entram os outros instrumentos em um estilo que se chamaria de música de comercial. *World music* também mostrou um resultado interessante com tambores. A funcionalidade

“*Moods*” que está dentro do *Mubert* também não funciona bem. Não é possível distinguir uma música “*upbeat*” de uma “*dramatic*”.

Entrando no que parece ser a especialidade da IA, o *Mubert* faz muito bem os subgêneros da música eletrônica de pista. O *Intelligent Dance Music (IDM)* é bastante diferente do *House* que, por sua vez, difere em muito do *Synthwave*.

Outra tentativa foi com o *Moises*, IA que separa uma música em várias partes. Na versão gratuita, desagrega vocais da bateria, do baixo e de outros instrumentos, depois faz alterações nos quatro instrumentos e os mixa. Foi testada a música “*Breathe*” de Pink Floyd. O baixo e a guitarra não se desassociaram muito bem, mas a bateria e os vocais ficaram bem distintos. Um metrônomo indesejado permaneceu durante o primeiro minuto da música.

Em seguida, houve uma tentativa com o *AIVA*, um site que gera músicas a partir daquelas já criadas com IA. Os únicos parâmetros que podem ser alterados são a tonalidade, que pode ser maior ou menor, e a duração da peça. A música gerada a partir de uma música chamada “*Tchaikovsky*” foi muito interessante, com um motivo presente na peça toda, a mudança de acordes foi intrigante e o timbre da orquestra foi bom. A variedade e a qualidade das músicas do *AIVA* são boas. Dois problemas são a falta de parâmetros ajustáveis e de espaço para receber um comando.

Seguiu-se com a IA *Riffusion*, que trabalha com letras, seja escritas pelos usuários ou geradas pela IA. Também é possível descrever o som ou deixar que a IA escolha as características dele. Como teste, o programa pôde escolher letra e características da música. A letra gerada foi: “*Júlio's dance moves, country style, twirlin' and groovin', makin' hearts go wild*”. A descrição do som foi: *edm dance song, male vocals harmonies, upbeat electronic beats, melodic vocal harmonies*. O resultado foram três pequenos trechos, o que foi interessante, apesar de a letra não encaixar em uma métrica mais estável, como é comum no estilo usado pela IA. Porém, em exemplos disponíveis na página inicial do site, a métrica encaixa bem.

O site apresenta apenas trechos curtos de música. Testou-se, então, criar uma letra maior e em português gerada com o ChatGPT:

(Verso 1)

No crepúsculo da vida, olho para o mar,
Onde as ondas quebram, como o tempo a passar.
Caminhando na areia, sob o sol poente,
Memórias e sonhos, no coração ardente.

(Refrão)

E eu canto para o horizonte, minha canção de amor,
Onde o oceano e o céu se unem, lá no infinito azul.
Com a esperança como guia, meu farol no escuro,
Navego pela vida, em busca do meu futuro.

(Verso 2)

Na calada da noite, sob um manto estrelado,
As constelações acima, meu destino traçado.
A lua sussurra segredos, para mim revelar,
Na escuridão, encontro a luz a brilhar.

(Refrão)

E eu canto para o horizonte, minha canção de amor,
Onde o oceano e o céu se unem, lá no infinito azul.
Com a esperança como guia, meu farol no escuro,
Navego pela vida, em busca do meu futuro.

(Ponte)

Em cada onda, em cada brisa do mar,
Sinto a vida fluir, me levar a sonhar.
Com coragem no peito e paixão no olhar,
Seguirei em frente, não vou hesitar.

(Refrão)

E eu canto para o horizonte, minha canção de amor,
Onde o oceano e o céu se unem, lá no infinito azul.
Com a esperança como guia, meu farol no escuro,
Navego pela vida, em busca do meu futuro.

(Saída)

E assim, com fé e amor, eu continuarei a remar,
Pelas águas da vida, em direção ao meu lugar.
No horizonte distante, meu destino a chamar,
Minha canção de amor, no vento a voar (OPENAI, 2023g).

O programa *Riffusion* respondeu que são permitidas apenas letras de cinco a vinte palavras. Foi solicitado, então, que o ChatGPT escrevesse uma letra com vinte palavras e que a música fosse lenta (“*1930’s very slow jazz singer, smooth drums*”), para ficar mais longa. Assim, a usaria no *Riffusion* conforme ele mesmo solicitou.

Então o ChatGPT respondeu: “Aqui está uma letra de música com vinte palavras: Na luz da manhã, o amor floresceu, sorrisos no ar, o coração a bater, juntos, para sempre, vamos viver”.

O programa leu as palavras com sotaque inglês e simplesmente ignorou letras com acentos e cedilha. Invariavelmente, todo resultado da IA tem doze segundos: o tempo não

foi lento. A letra foi falada em dois dos três trechos gerados. O terceiro inicia com uma canção de *jazz*, mas logo se transforma em um discurso falado. Um horror!

Testou-se então uma letra em inglês: “*Underneath the starry sky, we dance and sing, our spirits soaring high. In this moment, love's embrace, forever in this space*”.

Com a descrição sendo: *avant-garde noisy* experimental. Os três excertos foram muito semelhantes: letra falada com um murmúrio no fundo que tenta ser o acompanhamento. Foi utilizado o site riffusion.com.

Foi experimentada também a IA *Bard*, que funciona como o ChatGPT, um IA de linguagem que responde com palavras. Foi pedido em português a ela que criasse uma canção complexa sobre o oceano, mas o resultado não foi nada complexo:

Título: Oceano Infinito
Gênero: Rock Progressivo
Tempo: 4/4
Andamento: Lento
Introdução:
(Dó - Ré - Mi - Fá - Sol - Lá - Si - Dó)
Verso 1:
Em águas profundas Onde a luz não chega O oceano esconde Mistérios e riquezas
Refrão:
Oceano infinito Tão vasto e desconhecido Tu és um mundo à parte De beleza e segredos
Verso 2:
Tu és o lar de criaturas Ainda desconhecidas E de plantas que crescem Em águas salgadas
Refrão:
Oceano infinito Tão vasto e desconhecido Tu és um mundo à parte De beleza e segredos
Ponte:
Tu és um espelho do céu E um reflexo da terra Tu és um universo Em constante transformação
Refrão:
Oceano infinito Tão vasto e desconhecido Tu és um mundo à parte De beleza e segredos
Outro:
Tu és um mistério Que nunca será desvendado Mas, mesmo assim, Tu és um lugar mágico
Solo:
(Dó - Ré - Mi - Fá - Sol - Lá - Si - Dó)
Fim:
(Dó - Ré - Mi - Fá - Sol - Lá - Si - Dó) (BARDAI, 2023a).

Segundo a análise do *Bard*:

Esta música é uma balada rock progressivo que explora a beleza e o mistério do oceano. A letra é complexa, com metáforas e simbolismos que evocam a vastidão e a profundidade do oceano. A melodia é lenta e melancólica, criando uma atmosfera de contemplação. A música começa com uma introdução lenta e sombria, que representa a vastidão e o mistério do oceano. O primeiro verso descreve o oceano como um lugar onde a luz não chega, onde o desconhecido se esconde. O refrão enfatiza a vastidão e a beleza do oceano, que é um mundo à parte, cheio de segredos. O segundo verso descreve as criaturas e plantas que vivem no oceano. A ponte compara o oceano a um espelho do céu e um reflexo da terra, e afirma que é um universo em constante transformação. O refrão é repetido, enfatizando a beleza e o mistério do oceano. A parte intitulada outro descreve o oceano como um mistério que nunca será desvendado. Mesmo assim, o oceano é um lugar mágico, que nos inspira a sonhar. O solo é uma progressão de acordes complexa que cria uma sensação de movimento e transformação. A música termina com o refrão repetido, que é um hino à beleza e ao mistério do oceano (BARDAI, 2023b).

Já de acordo com a interpretação do *Bard*:

Esta música pode ser interpretada de várias maneiras. Ela pode ser vista como uma celebração da beleza e do mistério do oceano. Também pode ser vista como uma reflexão sobre a vastidão e o desconhecido. A música também pode ser vista como uma metáfora para a vida, que é um mistério que nunca será desvendado. Independentemente da interpretação, esta música é uma bela e complexa exploração do oceano (BARDAI, 2023c).

Concluiu-se que o *Bard*, por ser um modelo de linguagem, tem sua atenção e foco voltados para a linguagem: desvia da tarefa de criar uma música complexa e até mesmo daquela de criar uma letra complexa para apenas realizar uma descrição rebuscada sobre o que fez.

Examinou-se a IA *Ecret Music*, que permite que se escolha três categorias de estilo: *scene*, *mood* e *genre*. Como teste, foram selecionados *Puzzle*, *Tense* e *Techno*, respectivamente. Uma qualidade que não tinha sido vista em nenhuma outra IA é a separação da música em seções diferentes e a possibilidade de escolher quais instrumentos entram em quais seções: *Melody*, que possui três opções de timbre, *Backing*, *Bass*, *Drum* e *Fill*, que tem três opções. É possível ajustar o volume de cada instrumento separadamente. A melodia ficou em 33% e os outros instrumentos em 100%.

Em uma segunda experimentação, foi escolhido *Slow Motion*, *Chill* e *Acoustic*. Havia a opção de escolher vários instrumentos. Foram selecionados *Melody 1*, *Backing 3*, *Bass 3* e

Drum 1. *Melody* ficou com 55% de volume, *Backing* com 87%, *Bass* com 96% e *Drum* com 75%.

Soundraw, uma versão mais atualizada do *Ecret*, também possui três estilos: gênero, clima e tema; porém, há mais opções do que no primeiro. É possível alterar a duração da música, o andamento e até os instrumentos. A “energia” de cada seção de nove segundos pode ser ajustada, indo de *Low* até *Very High*. Foram avaliados *Horror & Thriller* e *Fear*, mas o resultado não foi como no *Soundful*. Houve uma batida que descaracterizou uma música repleta de tensão. É possível fazer músicas mais longas sem perda de interesse. Usou-se então essa IA para criar uma música de cinco minutos em que a mudança de energia dá mais dinâmica, mas a percepção foi de que cinco minutos é muito tempo mesmo com essa ferramenta.

Depois, houve uma tentativa de utilizar uma IA chamada *Melodrive*, mas não foi possível baixá-la sem auxílio por ausência de conhecimento de linguagem de programação para fazê-lo.

Melobytes é uma IA boa: pode-se escolher estilo musical, andamento, linguagem da voz, letra, se houver voz, gênero do(a) cantor(a), geração de clipe ou não, fonte sonora e se haverá efeitos de áudio como *reverb*, compressor, distorção, *flanger*, *gargle*, Eq paramétrico, *chorus*, *eco* e *phaser*.

Testou-se criar uma música no estilo de Pink Floyd com a seguinte letra:

Pula fogueira iaia
Pula fogueira ioio
Cuidado para não se queimar
Olha que a fogueira já queimou o meu amor (PULA..., 1936).

Mas a música gerada, de seis minutos e quarenta segundos, era apenas instrumental. Havia semelhanças entre ela e o repertório de Pink Floyd, mas faltava uma linha de condução. Nessa IA foi gerada uma música um pouco mais longa que, mesmo assim, funciona melhor que as geradas em IAs testadas anteriormente.

Ao realizar um segundo teste com um estilo chamado Hino, foi possível perceber que na realidade havia voz no primeiro teste. Era robótica, feita com síntese. Por isso não foi

possível reconhecê-la anteriormente. A voz em português é muito ruim, quase irreconhecível. Testou-se então uma voz que teoricamente funcionaria em qualquer língua. A letra ficou mais reconhecível, mas ainda havia cortes e mudanças de dinâmica abruptos, além de durações irregulares de sílabas e algumas omissões. O estilo escolhido, da banda Yes, teve mais êxito do que o do Pink Floyd.

Experimentou-se então uma letra em inglês feita com o ChatGPT, no estilo de Ravel:

In the stillness of the moonlit vale,
A songbird's trill, the nightingale,
Its melody, a soothing balm,
In the darkness, a comforting psalm

With feathers of midnight and voice so sweet,
The nightingale's song, a secret treat,
Each knot it sings, a gift from the heart,
In the hush of night, a work of art (OPENAI, 2023h).

O resultado ficou horrível, com voz irreconhecível. Sons eletrônicos que lembram miados de gatos não se assemelharam em nada com os trabalhos de Ravel. Formulou-se a hipótese de que vozes específicas de uma língua não funcionam. Para verificar, testou-se novamente com uma voz que funcionaria em qualquer linguagem. Ficou um pouco melhor, mas ainda se reconhece uma sílaba ou outra.

Seguiu-se para a tentativa com o *Magenta*; no entanto, como eram necessários conhecimento na linguagem *Python* e a edição *Ableton Live 10 Suite*, e o autor deste trabalho não possuía nenhum dos dois, não foi possível finalizar o teste.

Essas foram as principais tentativas deste autor de usar a IA com a função de compor, que geraram uma alternância entre momentos de empolgação e de frustração nesse percurso de descobertas.

CONCLUSÃO

A Inteligência Artificial e Música é um tema muito atual e com muitas interfaces entre música e tecnologia. Isso acontece por diferentes mecanismos, como pelo simples uso de um aparelho de som até o funcionamento de complexos processadores digitais de som. É necessário que o musicista tenha conhecimento em tecnologias computacionais e um linguajar bastante técnico.

Atualmente, a sociedade discute a influência da IA em todas as áreas de atuação profissional e também na vida pessoal. Em particular na música, discussões em torno da originalidade, ética, criatividade, sensibilidade e direitos autorais das produções musicais utilizando a IAM estão em voga não somente dentre os profissionais da música, mas também na imprensa e sociedade. É inegável que a IA já faz parte do cotidiano das pessoas sem mesmo que elas percebam, quer seja por meio das plataformas de *streaming*, ouvindo produções, por meio dos assistentes de voz, mecanismos de pesquisa, carros autônomos e redes sociais.

A ideia inicial era comparar uma música feita por um estudante no final do curso de composição sem o uso da IA com outra produzida exclusivamente por IAM partindo ambas dos mesmos parâmetros. As duas seriam apresentadas para dois grupos distintos, o primeiro com conhecimento técnico musical, como professores, acadêmicos e outros profissionais da música, e o segundo sem tal formação técnica. Os grupos não seriam informados sobre a maneira com que foram produzidas cada obra e, por meio de uma entrevista de poucas perguntas, os entrevistados dariam suas opiniões sobre as produções. Ao final, seria realizada análise comparativa entre ambas pelas vistas dos dois grupos.

Durante as tentativas de usar algumas plataformas de IAM, aleatoriamente houve dificuldade pela necessidade de maior conhecimento de programação de computador para executar o aplicativo. Outra percepção foi que em inglês havia mais sucesso nas respostas aos comandos dados aos aplicativos do que em português. Isso porque eles, em sua maioria, foram alimentados nessa língua.

Sucesso foi obtido em alguns aplicativos, porém, as músicas eram extremamente simples e pobres, sendo necessária outra mídia para dar estrutura. Muitos programas entregaram murmúrios, como *Suno Chirp* e *Melobytes*; outros, por exemplo, o *Soundful*, peças que não se sustentavam na sua forma. Houve os que repetiam as peças que foram disponibilizadas na entrada do *software*, como *AIVA*; ou algumas músicas que não atendiam os requisitos de entrada, a exemplo do *Mubert*, e IAMs que tinham poucos parâmetros de entrada, como o *AIVA*, ou que eram, em geral, curtas, em sua maioria feitas com menos de um minuto e muito repetitivas, como o *Soundraw*. Houve outras cujas letras em português não funcionavam, mesmo oferecendo essa possibilidade: *Suno Chirp* e *Riffusion*. Sugestões vagas e genéricas para a criação de uma peça e instruções com erros para a programação delas, ou seja, peças ruins foram apresentadas pelo ChatGPT e *IA Bard*. Enfim, nas tentativas, nota-se que ainda falta bastante para a IAM conseguir compor música de qualidade.

Às vezes, apesar de um resultado razoável, ao executá-lo havia dificuldade da IAM com os códigos como, por exemplo, com o ChatGPT 3.5, que descreveu *Ethereal Oscillations* muito detalhadamente e com termos musicais e sonoros que remetiam a uma música bastante promissora, porém, apresentou dificuldade ao escrever códigos para a música ser executada tanto no programa *Csound* quanto no *Pure Data*, se valendo de recursos simples e muitos erros. Outras vezes, sequer foi possível baixar o programa.

A necessidade de maior conhecimento tecnológico para a nova era de musicistas implica em uma demanda para que as entidades de educação musical ofereçam ainda mais esse conhecimento no meio acadêmico, com grades interdisciplinares e maior aproximação na graduação e pós-graduação dessas duas áreas, a arte e a tecnologia. Afinal, a arte musical e as ciências exatas sempre caminharam de mãos dadas, e é preciso acelerar o conhecimento para seguir assim. Como exemplo, há a medicina que, atualmente, nos congressos médicos das mais diversas especialidades, disponibilizam aulas sobre interação da saúde com a IA e a realidade virtual.

Apesar de inegáveis benefícios da IA e de seus avanços nas diferentes áreas, a sociedade ainda está iniciando nesse mundo por meio de debates a respeito dos limites éticos da IA e do papel por ela desempenhado na sociedade atual. A ampliação das discussões sobre esse tema

em todos os níveis da sociedade se faz necessária, afinal, cada vez mais, percebendo ou não, haverá constantes interações com essa realidade.

Pode-se analisar que a ideia que vem desde os primórdios da humanidade está aos poucos saindo da ficção, como nos filmes de Hollywood desde o filme Metrópolis de 1927; Blade Runner - o Caçador de Andróides; AI: Inteligência Artificial de 2001; Her (Ela) de 2013; Matrix; Exterminador do Futuro; Eu, Robô; 2001 Uma Odisseia no Espaço de 1968; e O Jogo da Imitação de 2014, dentre outros, e se tornando parte da rotina, com máquinas que almejam no futuro desenvolver atitudes, pensamentos e emoções próprias e sem auxílio de comandos prévios.

A IAM é uma ferramenta que pode inspirar a criatividade do compositor, mesmo que ainda haja muita limitação técnica nesse processo. Ela é uma boa aliada para explorar novas ideias e estilos, por meio de sugestões e *insights* que talvez não surgissem de outra maneira. Sendo assim, a ideia de que um compositor poderá ser substituído por uma IAM não tem fundamento.

Apesar de a ideia inicial deste trabalho não ter sido factível, as tentativas foram por vezes promissoras, denotando uma necessidade de estudos mais profundos do uso das tecnologias novas na arte composicional. Com base nessa pesquisa, a peça “Composição Humana” foi criada por um aluno do fim do curso de composição da ECA-USP para uma comparação com a música gerada por IAM. No entanto, isto não chegou a acontecer porque o resultado das tentativas de criação de música pela tecnologia foi pouco artístico.

É evidente o avanço contínuo da IA em todas as áreas e, mesmo que um dia as máquinas consigam alcançar fielmente os potenciais cognitivos da humanidade e até consigam “sentir” sem receber comandos, não há como produzir obras como os humanos porque, como disse Fritz Lang em seu filme Metrópolis de 1927, “O mediador entre a cabeça e as mãos deve ser o coração”.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A HISTÓRIA da inteligência artificial. *Instituto de Engenharia*, São Paulo, 20 out. 2018. Disponível em: <https://www.institutodeengenharia.org.br/site/2018/10/29/a-historia-da-inteligencia-artificial/>. Acesso em: 09 nov. 2023.
- AI in Music Composition & Production. *AIWS*, Houston, [202-]. Disponível em: <https://aiworldschool.com/research/ai-in-music-composition-production/#:~:text=AI%20music%20composition%20was%20first,learning%20is%20gainin%20widespread%20popularity>. Acesso em: 17 out. 2023.
- AIVA.AI. “Tchaikovsky”. 2023. Disponível em: <https://www.aiva.ai>. Acesso em: 14 maio 2023.
- ALGORITMOS Genéticos. *USP*, São Paulo, [20--]. Disponível em: <https://sites.icmc.usp.br/andre/research/genetic/>. Acesso em: 17 out. 2023.
- ALONSO, A. L. A máquina de Turing e a máquina do Revirão: computar, calcular e pensar. *Lumina*, v. 2, n. 2, 2008.
- ARANGO, J. J.; TOMOYOSHI, M.; IAZZETTA, F. QUEIROZ, M. Brazilian Challenges on Network Music. In: PROCEEDINGS OF THE SOUND AND MUSIC COMPUTER CONFERENCE, Stockholm, 2013. *Anais [...]*, SMC, 2013.
- BACHGPT. [S. l.: s. n.], 2023. 1 vídeo (15 min). Publicado pelo canal Nobody & The Computer. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=HS0MXynfstA>. Acesso em: 15 nov. 2023.
- BAIRD, B.; BLEVINS, D.; ZAHLER, N. Artificial Intelligence and Music: Implementing an Interactive Computer Performer. *Computer Music Journal*, Cambridge, v. 17, n. 2, p. 73-79, 1993.
- BALA, P. 10 Melhores sites de inteligência artificial que criam músicas. *Apptuts*, [S. l.], 17 out. 2023. Disponível em: <https://www.apptuts.net/tutorial/informatica/sites-inteligencia-artificial-criam-musicas/>. Acesso em: 20 nov. 2023.
- BARDAI. “Criar uma canção complexa sobre o oceano – Análise do Bard”. 2023b. Disponível em: <https://bard.google.com/chat>. Acesso em: 14 maio 2023.
- BARDAI. “Criar uma canção complexa sobre o oceano – Interpretação do Bard”. 2023c. Disponível em: <https://bard.google.com/chat>. Acesso em: 14 maio 2023.
- BARDAI. “Criar uma canção complexa sobre o oceano”. 2023a. Disponível em: <https://bard.google.com/chat>. Acesso em: 14 maio 2023.
- BEYLS, P. The Musical Universe of Cellular Automata. *International Computer Music Conference*, p. 34-41, 1989.
- BOULANGER, R. (ed.). *The Csound Book: Perspectives in Software Syntheses, Sound Design, Signal Process, and Programming*. Cambridge: MIT Press, 2000. 782 p.
- BRIOT, J. P.; HADJERES, G.; PACHET, F. D. Deep Learning Techniques for Music Generation – a survey. *arXiv preprint arXiv:1709.01620*, 2017.
- CABAL, A. J. F. 4 qualidades humanas que a inteligência artificial não consegue copiar. *GI*, São Paulo, 26 nov. 2023. Disponível em: <https://g1.globo.com/tecnologia/noticia/2023/07/26/4-qualidades-humanas-que-a-inteligencia-artificial-nao-consegue-copiar.ghtml>. Acesso em: 05 dez. 2023.
- CAETANO, M.; MANZOLLI, J.; VON ZUBEN, F. BioMúsica: Aplicações de Inteligência Artificial e Algoritmos Bio-Inspirados em Música. In: II SEMINÁRIO DE MÚSICA,

- CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 1., 2005, São Paulo. Disponível em:
http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000102005000100014&lng=en&nrm=abn. Acesso em: 04 dez. 2023.
- CAMURRI, A. *et al.* Music and Multimedia Knowledge Representation and Reasoning: the Harp System. *Computer Music Journal*, Cambridge, v. 19, n. 2, p. 34-58, 1995.
- CARMO, V. O uso de questionários em trabalhos científicos. *UFSC*, Santa Catarina, 2013. Disponível em:
https://www.inf.ufsc.br/~vera.carmo/Ensino_2013_2/O_uso_de_questionarios_em_trabalhos_cient%EDficos.pdf. Acesso em: 17 out. 2023.
- CARVALHO JUNIOR, A. D. *Análise de padrões musicais rítmicos e melódicos utilizando o algoritmo de predição por correspondência parcial*. 2011. Dissertação (Mestrado em Informática – Sistemas de Computação) – Departamento de Informática, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2011.
- CHAER, G.; DINIZ, R. R. P.; RIBEIRO, E. A. A técnica do questionário na pesquisa educacional. *Revista Evidência*, v. 7, n. 7, 2012.
- CHIN, F.; WU, S. An Efficient Algorithm for Rhythm-Finding. *Computer Music Journal*, Cambridge, v. 16, n. 2, p. 35-44, 1992.
- CONKLIN, D. Music Generation from Statistical Models. In: PROCEEDINGS OF THE AISB 2003 SYMPOSIUM ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND CREATIVITY IN THE ARTS AND SCIENCES. 2003. p. 30-35.
- COPE, D. An Expert System for Computer-Assisted Composition. *Computer Music Journal*, Cambridge, v. 11, n. 4, p. 30-46, 1987.
- COPE, D. Computer Modeling of Musical Intelligence in EMI. *Computer Music Journal*, v. 16, n. 2, p. 69-83, 1992.
- COPE, D. *Computer Models of Musical Creativity*. Cambridge: The MIT Press, 2017.
- COPE, D. *The Algorithmic Composer*. Middleton: A-R Editions, 2000. 302 p.
- COPE, D. Virtual Music. *Computer Music Journal*, Cambridge, v. 26, n. 4, p. 92-95, 2002.
- DANNENBERG, R. B. The Canon Score Language. *Computer Music Journal*, Cambridge, v. 13, n. 1, p. 47-56, 1989.
- DHARIWAL, P. *et al.* Jukebox: A Generative Model for Music. *arXiv preprint arXiv: 2005.00341*, 2020.
- DUISBERG, R. On the Role of Affect in Artificial Intelligence and Music. *Perspectives of New Music*, vol. 23, n. 1, p. 6-35, 1984.
- EBCIOĞLU, K. An Expert System for Harmonizing Four-Part Chorales. *Computer Music Journal*, Cambridge, v. 12, n. 3, p. 43-51, 1988.
- ECO, H. *Como se faz uma Tese*. São Paulo: Editora Perspectiva, 2020.
- ECRETTMUSIC. “Puzzle, Tense e Techno”. 2023. Disponível em: <https://ecrettmusic.com/>.
- ECRETTMUSIC. “Slow Motion, Chill e Acoustic”. 2023. Disponível em: <https://ecrettmusic.com/>. Acesso em: 14 maio 2023.
- FEENBERG, A. *Questioning Technology*. Londres: Routledge, 1999.
- FERNADEZ, J. D. AI Methods in Algorithmic Composition: A Comprehensive Survey. *Journal of Artificial Intelligence Research*, v. 48, p. 513-582, 2013.
- FERNÁNDEZ, J. D.; VICO, F. AI Methods in Algorithmic Composition: A Comprehensive Survey. *Journal of Artificial Intelligence Research*, v. 48, p. 513-582, 2013.

- FRIBERG, A. Generative Rules for Music Performance: A Formal Description of a Rule System. *Computer Music Journal*, Cambridge, v. 15, n. 2, p. 56-71, 1991.
- GABRIEL, P. H. R.; DELBEM, A. C. B. *Fundamentos de Algoritmos Evolutivos*. São Paulo: ICM-USP, 2008.
- GALANTER, P. What is Generative Art? Complexity Theory as a Context for Art Theory. In: GA2003 - 6th GENERATIVE ART CONFERENCE, 2003. Milano: Politecnico di Milano University, 2023. Disponível em: https://philipgalanter.com/downloads/ga2003_what_is_genart.pdf. Acesso em 15 de janeiro de 2023.
- GONÇALVES, H. A. *Manual de monografia, dissertação e tese*. 2 ed. São Paulo: Avercamp, 2008.
- GONSALVES, E. L. *Iniciação à Pesquisa Científica*. Campinas: Alínea Editora, 2005.
- GUIARRA, P. Inteligência Artificial. *Brasil Escola*, São Paulo, 2023. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/informatica/inteligencia-artificial.htm>. Acesso em: 20 nov. 2023.
- HOWELL, J. A Beginners Guide to ChatGPT. *101 Blockchains*, New York, 19 maio 2023. Disponível em: https://101blockchains.com/chatgpt-tutorial/?gclid=CjwKCAjwkNOpBhBEEiwAb3MvvRPQ0xw2EBRUFCAYAsbm4iHOtcYjljHmpze3KohDTmBzMB6VUMWg5xoCNegQAvD_BwE. Acesso em: 20 nov. 2023.
- IAZZETTA, F. Adaptations and Contrasts: some issues regarding the interaction between instrumental and electroacoustic sounds (versão bilíngue: Adaptações e Contrastes: algumas reflexões a respeito da interação entre sons instrumentais e eletroacústicos). *Sonic Ideas - Ideas Sonicas*, v. 6, p. 11-26, 2013.
- IAZZETTA, F. Composição e performance interativa. In: FERRAZ, S. (org.). *Notas, atos, gestos*. Rio de Janeiro: 7 Letras, 2007.
- IAZZETTA, F. Formalization of Computer Music Interaction Through a Semiotic Approach. *Journal of New Music Research*, v. 25, n. 3, p. 212-230, 1996.
- IAZZETTA, F. GenComp: An Environment for Graphic Creation and Representation of Music Generated with Genetic Algorithms. In: III Simpósio Brasileiro de Computação e Música, Recife, 1996. *Anais [...]*, Recife, UFPE, 1996.
- IAZZETTA, F. O fonógrafo, o computador e a música na universidade brasileira. In: X ENCONTRO DO ANPPOM, Goiânia, 1997. *Anais [...]*, UFG, 1997.
- KOVACS, L. Como surgiu a inteligência artificial. *Tecnoblog*, Americana, 05 mar. 2023. Disponível em: <https://tecnoblog.net/responde/como-surgiu-a-inteligencia-artificial/>. Acesso em: 15 out. 2023.
- KUGEL, P. Myhill's Thesis: There's More than Computing in Musical Thought. *Computer Music Journal*, Cambridge, v. 14, n. 3, p. 12, 1990.
- KUHN, W. B. A Real-Time Pitch Recognition Algorithm for Music Applications. *Computer Music Journal*, Cambridge, v. 14, n. 3, p. 60-71, 1990.
- KURZWEIL, R. *The Age of Intelligent Machines*. Cambridge: MIT Press, 1992. 580 p.
- LANGSTON, P. S. IMG/1: An Incidental Music Generator. *Computer Music Journal*, Cambridge, v. 15, n. 1, p. 28-39, 1991.
- LASKE, O. E. Introduction to Cognitive Musicology. *Computer Music Journal*, Cambridge, v. 12, n. 1, p. 43-57, 1988.

LASKOWSKI, N.; TUCCI, L. Artificial Intelligence (AI). *TechTarget*, Newton, [20--]. Disponível em: <https://www.techtarget.com/searchenterpriseai/definition/AI-Artificial-Intelligence>. Acesso em: 15 out. 2023.

LEACH, J.; FITCH, J. Nature, Music, and Algorithmic Composition. *Computer Music Journal*, Cambridge, v. 19, n. 2, p. 23-33, 1995.

LEMOS, A. Como surgiu a inteligência artificial?. *Exame*, São Paulo, 08 ago. 2023. Disponível em: <https://exame.com/inteligencia-artificial/como-surgiu-a-inteligencia-artificial/>. Acesso em: 14 nov. 2023.

MARASCIULO, M.; PETERSEN, T. M. Como a ideia de inteligência artificial evoluiu ao longo da história. *Galileu*, São Paulo, 10 set. 2023. Disponível em: <https://revistagalileu.globo.com/tecnologia/noticia/2023/06/como-a-ideia-de-inteligencia-artificial-evoluiu-ao-longo-da-historia.ghtml>. Acesso em: 25 nov. 2023.

MELOBYTES. “Pink Floyd – Pula a Fogueira”. 2023. Disponível em: <https://melobytes.com/en>. Acesso em: 14 maio 2023.

MILLER, A. I. *The Artist in the Machine: the World of AI-powered Creativity*. Cambridge: The MIT Press, 2019.

MOISESAI. “Breathe”. 2023. Disponível em: www.studio.moises.ai. Acesso em: 14 maio 2023.

MOORER, J. A. How Does a Computer Make Music?. *Computer Music Journal*, Cambridge, v. 2, n. 1, p. 32-37, 1978.

MOORER, J. A. Music and Computer Composition. *Communications of the ACM*, v. 15, n. 2, p. 104-113, 1972.

MUBERT. 2023. Disponível em: www.mubert.com. Acesso em: 14 maio 2023.

NEVES, D. Os 9 melhores sites de inteligência artificial para criar músicas. *Música & Mercado*, São Paulo, 29 maio 2023. Disponível em: <https://musicaemercado.org/os-9-melhores-sites-para-criar-musicas-com-inteligencia-artificial/>. Acesso em: 10 out. 2023.

O QUE é inteligência artificial (IA)?. *IBM*, Nova Iorque, [20--]. Disponível em: <https://www.ibm.com/br-pt/topics/artificial-intelligence>. Acesso em: 13 abr. 2023.

OPENAI. “1930’s Very Slow Jazz Singer, Smooth Drums”. 2023. Disponível em: <https://chat.openai.com>. Acesso em: 14 maio 2023.

OPENAI. “Could you Fill the Missing Parameters of this Code?”. 2023. Disponível em: <https://chat.openai.com>. Acesso em: 14 maio 2023.

OPENAI. “Create ‘Ethereal Oscillations’ for PD.” 2023e. Disponível em: <https://chat.openai.com>. Acesso em: 14 maio 2023.

OPENAI. “Create a code for ‘Ethereal Oscillations’ in Pure Data”. 2023. Disponível em: <https://chat.openai.com>. Acesso em: 14 maio 2023.

OPENAI. “Create a Complete Guide Based On”. 2023. Disponível em: <https://chat.openai.com>. Acesso em: 14 maio 2023.

OPENAI. “Create a Complex Csound Code”. 2023f. Disponível em: <https://chat.openai.com>. Acesso em: 14 maio 2023.

OPENAI. “Create a musical score for contemporary music”. 2023a. Disponível em: <https://chat.openai.com>. Acesso em: 14 maio 2023.

OPENAI. “Create an Electronic Experimental Music Score, with Continuous Form of About Three Minutes and Use Music Notation Software to Transcribe the Musical Ideas

Into a Readable Score”. 2023b. Disponível em: <https://chat.openai.com>. Acesso em: 14 maio 2023.

OPENAI. “Create an Electronic Experimental Music Score, with Continuous Form of About Three Minutes and Use Text to Describe the Music”. 2023c. Disponível em: <https://chat.openai.com>. Acesso em: 14 maio 2023.

OPENAI. “Create the Code of ‘Ethereal Oscillations’ for Csound”. 2023d. Disponível em: <https://chat.openai.com>. Acesso em: 14 maio 2023.

OPENAI. “Criar uma letra maior e em português”. 2023g. Disponível em: <https://chat.openai.com>. Acesso em: 14 maio 2023.

OPENAI. “Describe Precisely the Creation of the Undulating Drone of ‘Ethereal Oscillations’”. 2023. Disponível em: <https://chat.openai.com>. Acesso em: 14 maio 2023.

OPENAI. “Describe Precisely the Layering of Ethereal Textures of ‘Ethereal Oscillations’”. 2023. Disponível em: <https://chat.openai.com>. Acesso em: 14 maio 2023.

OPENAI. “How do I Paste the Code into the Blank Canvas Area in PD?”. 2023. Disponível em: <https://chat.openai.com>. Acesso em: 14 maio 2023.

OPENAI. “How do I Play this Code in PD?”. 2023. Disponível em: <https://chat.openai.com>. Acesso em: 14 maio 2023.

OPENAI. “Letra em inglês com estilo de Ravel”. 2023h. Disponível em: <https://chat.openai.com>. Acesso em: 14 maio 2023.

OPENAI. “Underneath the Starry Sky, We Dance and Sing, our Spirits Soaring High. In this Moment, Love's Embrace, Forever in this Space”. 2023. Disponível em: <https://chat.openai.com>. Acesso em: 14 maio 2023.

PASQUINELLI, M.; JOLER, V. The Nooscope Manifested: AI as Instrument of Knowledge Extractivism. *Fritz*, [S. l.], 2020. Disponível em: <https://fritz.ai/nooscope/>. Acesso em 25 set. 2020.

PENNYCOOK, B. Machine Songs II: The “PRAESCIO” Series: Composition-Driven Interactive Software. *Computer Music Journal*, Cambridge, v. 15, n. 3, p. 16-26, 1991.

PHILOSOPHIZE This. [Locução de]: Stephen West. [S. l.]: Spotify, 22 jul. 2023. *Podcast*. Disponível em: <https://open.spotify.com/episode/1cDx1urFBxA5TdXQnG7Ds6?si=43bb8b14141c410e>. Acesso em: 15 out. 2023.

PRADO, C. Inteligência artificial lança 1º hit e incomoda gigantes da música; quem fica com os direitos autorais?. *G1*, São Paulo, 05 jun. 2023. Disponível em: <https://g1.globo.com/pop-arte/musica/noticia/2023/06/05/inteligencia-artificial-lanca-1o-hit-e-incomoda-gigantes-da-musica-quem-fica-com-os-direitos-autorais.ghtml>. Acesso em: 10 out. 2023.

PRADO, C.; SARMENTO, G. g1 Ouviu # 250 – Inteligência artificial incomoda gigantes da música, mas pode virar ferramenta criativa para artistas. *G1*, São Paulo, 04 jun. 2023. Disponível em: <https://g1.globo.com/podcast/g1-ouviu/noticia/2023/06/04/g1-ouviu-250-inteligencia-artificial-incomoda-gigantes-da-musica-mas-pode-virar-ferramenta-criativa-para-artistas.ghtml>. Acesso em: 10 out. 2023.

PRADO, J. A inteligência artificial é mais antiga do que você imagina. *Tecnoblog*, Americana, 05 abr. 2023a. Disponível em: <https://tecnoblog.net/especiais/inteligencia-artificial-historia-dilemas/>. Acesso em: 15 out. 2023.

PULA a fogueira. Intérprete: Francisco Alves. Compositor: João Bastos Filho e Getúlio Marinho. Intérprete: Francisco Alves. RCA Victor: Marcha, 1936.

REDES neurais artificiais. *ICMC*, São Paulo, [20--]. Disponível em: <https://sites.icmc.usp.br/andre/research/neural/>. Acesso em: 21 maio 2023.

RIFFUSION. “edm dance song, male vocals harmonies, upbeat electronic beats, melodic vocal harmonies”. 2023. Disponível em: <https://www.riffusion.com/>. Acesso em: 14 maio 2023.

RISSET, J. C. Some Comments About Future Music Machines. *Computer Music Journal*, Cambridge, v. 15, n. 4, p. 32-36, 1991.

ROADS, C. Artificial Intelligence and Music. *Computer Music Journal*, Cambridge, v. 4, n. 2, p. 13-25, 1980.

SAUTOY, M. *The Creativity Code: Art and Innovation in the Age of AI*. Cambridge: The Belknap Press of Harvard University Press, 2019.

SEVERINO, A. J. *Metodologia do Trabalho Científico*. São Paulo: Cortez Editora, 1976.

SICHMAN, J. S. Inteligência Artificial e sociedade: avanços e riscos. **Estudos Avançados**, v. 35, p. 37-50, 2021. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/185024>. Acesso em: 11 maio 2021.

SIMON, S. J. Computer Models of Musical Creativity. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, Syracuse, v. 58, n. 10, p. 1553-1555, 2007.

SOLIS, J. et al. The Waseda Flutist robot WF-4RII in comparison with a professional flutist. *Computer Music Journal*, Cambridge, v. 30, n. 4, p. 12-27, 2006.

SUNO Discord Commands. *Suno Docs*, [S. l], [20--]. Disponível em: <https://suno-ai.notion.site/Suno-Discord-Commands5b62a5bf426346ad8355164c9ecb5115#69c3a8104f7c4444a08df424e1967c89>. Acesso em: 16 out. 2023.

SUNOAI. “Produzir duas músicas eletrônicas experimentais com letra sobre natureza criada pelo ChatGPT”. 2023. Disponível em: <https://www.suno.ai/>. Acesso em: 14 maio 2023.

SUPPER, M. A Few Remarks on Algorithmic Composition. *Computer Music Journal*, Cambridge, v. 25, n. 1, p. 48-53, 2001.

VALLANCE, C. ‘Inteligência Artificial não ameaça humanidade’: por que mais de 1,3 mil especialistas creem que tecnologia será benéfica. *BBC News Brasil*, São Paulo, 19 jul. 2023. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/articles/c10zm8rzvp0o#:~:text='Intelig%C3%A2ncia%20Artificial%20n%C3%A3o%20amea%C3%A7a%20humanidade,creem%20que%20tecnologia%20ser%C3%A1%20ben%C3%A9fica&text=Uma%20carta%20aberta%20assinada%20por,n%C3%A3o%20uma%20amea%C3%A7a%20%C3%A0%20humanidade%22>. Acesso em: 17 out. 2023.

VIDYAMURTHY, G.; CHAKRAPANI, J. Cognition of Tonal Centers: A Fuzzy Approach. *Computer Music Journal*, Cambridge, v. 16, n. 2, p. 45-50, 1992.

VIEGAS, J. D. *O Perceptron e as Máquinas de Vetores de Suporte*. 2017. Projeto Supervisionado – UNICAMP, Campinas, 2017. Disponível em: me.unicamp.br/~mac/db/2017-1S-138596.pdf. Acesso em: 16 jun. 2023.

VIRGINIO, A. A. S. Projeto de Pesquisa: estrutura e formatação. [20--]. Apresentação do Power Point. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/7605034/mod_resource/content/1/Projeto%20de%20Pesquisa_Estrutura%C3%A7%C3%A3o.pdf. Acesso em: 15 jun. 2023.

WATANABE, G. C. A *Mediação algorítmica do hip hop: as playlists personalizadas do Spotify e a formação de uma identidade midiaticizada*. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Comunicação Social com habilitação em Publicidade e Propaganda) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/directbitstream/b86e9d14-73a4-48f1-a715-e0556ac0eed9/tc4738-Giovanni-Watanabe-Mediacao.pdf>. Acesso em: 02 dez. 2023.

WILSON, S. Computer art: Artificial Intelligence and the Arts. *Leonardo*, v. 16, n. 1, p. 15-20, 1983.

WINOGRAD, T.; FLORES, F. *Understanding Computers and Cognition: A New Foundation for Design*. 1. ed. Boston: Addison-Wesley Professional, 1987. 207 p.

WITTEN, I. H.; MANZARA, L. C.; CONKLIN, D. Comparing Human and Computational Models of Music Prediction. *Computer Music Journal*, Cambridge, v. 18, n. 1, p. 70-80, 1994.

X2ID. Filmes sobre a inteligência artificial. *X2 Inteligência Artificial*, São Paulo, 3 mar. 2020. Disponível em: <https://x2inteligencia.digital/2020/03/03/filmes-sobre-a-inteligencia-artificial/>. Acesso em: 17 out. 2023.

X2ID. História da Inteligência Artificial. *X2 Inteligência Artificial*, São Paulo, 20 fev. 2020. Disponível em: <https://x2inteligencia.digital/2020/02/20/historia-da-inteligencia-artificial-2/>. Acesso em: 19 nov. 2023.

ZUBEN, F. J. V.; BOCCATO, L.; ATTUX, R. Programação Genética. *UNICAMP*, Campinas, [20--]. Disponível em: https://www.dca.fee.unicamp.br/~lbocato/topico_9_programacao_genetica.pdf. Acesso em: 20 out. 2023.

ZULIĆ, H. et al. How AI can Change/Improve/Influence Music Composition, Performance and Education: Three Case Studies. *INSAM Journal of Contemporary Music, Art and Technology*, v. 1, n. 2, p. 100-114, 2019.