



Pós-Graduação em Ciência da Computação

Rute Maxsuelly Aquino de Moura

**Visualização Computacional de Informação Musical: Um estudo de caso para
análise rítmica**



Universidade Federal de Pernambuco
posgraduacao@cin.ufpe.br
<http://cin.ufpe.br/~posgraduacao>

Recife
2021

Rute Maxsuelly Aquino de Moura

**Visualização Computacional de Informação Musical: Um estudo de caso para
análise rítmica**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência da Computação do Centro de Informática da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação.

Área de Concentração: Visualização da Informação Musical

Orientador: Giordano Ribeiro Eulálio Cabral
Coorientador: Ricardo Enrique Pereira Scholz

Recife
2021

FICHA

Rute Maxsuelly Aquino de Moura

“Visualização Computacional de Informação Musical: Um estudo de caso para análise rítmica”

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação.

Aprovado em:

Orientador: Giordano Ribeiro Eulálio Cabral

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Carlos Sandroni
Departamento de Música / UFPE

Prof. Dr. Geber Lisboa Ramalho
Centro de Informática / UFPE

Prof. Dr. Pedro Martins Alessio
Departamento de Licenciatura em Expressão Gráfica/ UFPE

Dedico este trabalho a meus pais, irmã, sobrinha e esposo meus portos seguros nesta jornada de muita aprendizagem.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha família querida que sempre me apoia em minhas decisões e me incentivam na busca dos meus sonhos. No percurso deste mestrado conheci muitas pessoas únicas que colaboraram para meu crescimento profissional, meu agradecimento especial: a Giordano Cabral pela orientação, sensibilidade e por sempre acreditar em meu potencial. Aos amigos Horhanna Almeida, Mychelline Cunha, Jader Abreu, De-lando Júnior e Jarbas Jacomé que estiveram sempre presentes compartilhando vivências e oferecendo suporte nos momentos desafiadores. A todos participantes envolvidos na pesquisa integrantes do Mustic(Grupo de pesquisa de Música e Tecnologia) e do Cin(Centro de Informática -UFPE). Ao Espaço Clube da Música, e aos seus professores colaboradores que me acolheram com gentileza na coleta de campo. Aos amigos verdadeiros dessa jornada vida.

Enquanto as Artes cifram, as ciências decifram. (SANTARELLA, 2012a)

RESUMO

Os seres humanos são visuais. Assim, é inerente que a comunicação de uma mensagem seja feita rapidamente se ela for representada visualmente. A música, objeto de estudo nesta pesquisa, possui diversos desafios representacionais por ser uma arte rica em informações abstratas e complexas que possuem caráter subjetivo. A Musicologia, já realiza estudos fundamentais em relação a seus aspectos informacionais, pelas discussões textuais e análises musicais, mas no âmbito da visualização restringe-se a utilizar notações clássicas, como a partitura, que mesmo em sua completude da leitura musical ainda limita o estudo representativo e comunicativo da música. Sendo assim, neste trabalho utilizamos a Visualização Computacional da Música potencializada por recursos de software - pelo processamento, tratamento e manipulação de dados de arquivos digitais-, para gerar experimentações de visualizações musicais que comuniquem seus elementos estruturais. Para isto, realizamos um mapeamento sistemático de categorização das visualizações musicais e exploramos por um estudo de caso processos criativos relacionando estruturas visuais as informações musicais. Aplicando um modelo de protocolo experimental baseado na abordagem Design Thinking e na imersão das etapas de problematização, ideação, prototipação e avaliação. Com uma pesquisa qualitativa-quantitativa, centrada no usuário realizamos coletas de dados e de feedback através de grupos focais e sessões individuais. Todo esse processo concebeu diretrizes para desenvolvimento do Mandrit, sistema de geração automática de visualizações musicais para análise do ritmo. Que plota gráficos para diferentes obras musicais representando suas propriedades com assinaturas rítmicas de dados extraídos dos arquivos digitais MIDI, como resultado parametrizamos e apresentamos novas formas de visualizar o ritmo por suas métricas. Com avaliações, concluímos que a visualização estática da música possui vantagens e desvantagens em relação ao seu aspecto representacional. Pois permite realizar análises comparativas, informacionais e relacionais das obras como um todo, por outro lado dificulta no acompanhamento musical pois o tempo é comprimido e acumulado em um plano bidimensional resultando em poluição gráfica. Por fim, sugerimos a continuidade de desenvolvimento de ferramentas para Visualização de Informação Musical que implementem interações e animações, como meio para possibilitar maior autonomia a músicos e estudiosos nos processos de análise musical e auxiliem no ensino e criação de composições.

Palavras-chaves: Visualização de Informação, Musicologia, Dados Musicais, Softwares gráficos, Design Thinking

ABSTRACT

Human beings are visual. Thus, it is inherent that a message is communicated quickly if it is represented visually. Music, the object of study in this research, has several representational challenges as it is an art rich in abstract and complex information that has a subjective character. Musicology, already carries out fundamental studies about its informational aspects, through textual discussions and musical analyzes, but in the scope of visualization, it is restricted to using classical notations, such as the score, which even in its completeness of musical reading still limits the study representative and communicative of music. Therefore, in this work, we use the Computational Visualization of Music enhanced by software resources - through the processing, treatment, and manipulation of data from digital files -, to generate experiments in musical visualizations that communicate their structural elements. For this, we carry out systematic mapping of categorization of musical visualizations and explored through a case study creative processes relating visual structures to musical information. Applying an experimental protocol model based on the Design Thinking approach and immersing in the stages of problematization, ideation, prototyping, and evaluation. With qualitative-quantitative research, centered on the user, we collect data and feedback through focus groups and individual sessions. This entire process designed guidelines for the development of Mandrit, a system for the automatic generation of musical visualizations for rhythm analysis. That plots graphs for different musical works representing their properties with rhythmic signatures of data extracted from digital MIDI files, as a result, we parameterize and present new ways to visualize the rhythm by its metrics. With evaluations, we concluded that the static visualization of music has advantages and disadvantages in its representational aspect. Because it allows comparative, informational, and relational analyzes of the works as a whole, on the other hand, it is difficult in musical accompaniment because time is compressed and accumulated in a two-dimensional plane resulting in graphic pollution. Finally, we suggest the continued development of tools for Visualizing Musical Information that implement interactions and animations, as a means to enable greater autonomy for musicians and scholars in the processes of musical analysis and assist in teaching and creating compositions.

Key-words: Information visualization, Musicology, Music data, Graphic software.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Dados MIDI transmitindo informações musicais	17
Figura 2 – Música: Campos parciais e ciências auxiliares	24
Figura 3 – Altura do som e Tonalidade	27
Figura 4 – Análise obra de Villas Lobos	28
Figura 5 – Sonata 3º, compassos iniciais (1-2) e Sonata 4º, compassos iniciais (1-5)	30
Figura 6 – Sistema de disposição de cifras	31
Figura 7 – Figuras Musicais	32
Figura 8 – Pintura Highway and Byways	33
Figura 9 – Notação contemporânea: Sylvano Bussotti	34
Figura 10 – Transformação dos Dados em Representações visuais	37
Figura 11 – Plataformas Metadados Musicais	43
Figura 12 – Plataforma LASTFM	44
Figura 13 – Plataformas Metadados Musicais	45
Figura 14 – Iannix	46
Figura 15 – Representações de Informações musicais MusicVis	47
Figura 16 – Visualizações Musicais interativas	49
Figura 17 – Animações MAMPLayer	51
Figura 18 – Gráficos de Dispersão	53
Figura 19 – Gráficos de Barras	54
Figura 20 – Harmin: Análise de Progressões Harmônicas	55
Figura 21 – Diagrama Visualização Musical	56
Figura 22 – Ferramentas Design Thinking	59
Figura 23 – Protocolo Experimental	60
Figura 24 – Matriz de Motivações	63
Figura 25 – Problemáticas	64
Figura 26 – A geometria das seis linhas do tempo distintas	70
Figura 27 – Paradigma do Tresillo	70
Figura 28 – Propriedades Gráficas	72
Figura 29 – Processo criativo	74
Figura 30 – Resultados Experimento piloto	75
Figura 31 – Definição de personas	76
Figura 32 – Roadmap Workshop de Co-Criação	77
Figura 33 – Desenvolvimento de Visualizações	81
Figura 34 – Formas Primárias	84
Figura 35 – Esboços Instrumentais	85
Figura 36 – Cores e emoções musicais	86

Figura 37 – Dinâmica Musical	88
Figura 38 – Esboço Participante 06	89
Figura 39 – Esboços Participante 01	90
Figura 40 – Esboços Participante 02	91
Figura 41 – Perfil na área de Música	94
Figura 42 – Perfil na área de Visualização de Informação	94
Figura 43 – Perfil dos colaboradores Workshop	95
Figura 44 – Nuvem de palavras experimento	97
Figura 45 – Síntese descrição guiada: Genialidades rítmicas	98
Figura 46 – Roadmap do Processo de Prototipação	100
Figura 47 – Arquitetura para extração de dados rítmicos	102
Figura 48 – Fórmula do compasso aplicada algoritmo de extração	104
Figura 49 – Especificações por eventos do Compasso	105
Figura 50 – Tempo e beat	106
Figura 51 – SetTempo conversão	106
Figura 52 – Fluxo do back-end Mandrit	107
Figura 53 – Arquivo MP3 para MIDI	108
Figura 54 – Modelos Visuais RAWGraphs	109
Figura 55 – Música Frevo Mulher	110
Figura 56 – Digitalização de Esboços	112
Figura 57 – Processo de Definição das Cores	113
Figura 58 – Função executável do esboço cíclico	114
Figura 59 – Experimentos Gráficos	115
Figura 60 – Experimentos gráficos	116
Figura 61 – Gráficos Polares MandRit	117
Figura 62 – Polar Bubble Chart: Baião	118
Figura 63 – Estrutura visual Bubble Chart	118
Figura 64 – Polar Radar Chart: Baião	119
Figura 65 – Estrutura Visual Radar Chart	119
Figura 66 – Radial Column: Baião	120
Figura 67 – Estrutura Visual Radial Collumn	120
Figura 68 – Radial Column: Anunciação - Alceu Valença	121
Figura 69 – A Felicidade - Toquinho	122
Figura 70 – Questionamentos para otimização	123
Figura 71 – Referência do Compasso	123
Figura 72 – Produções com arranjos diferentes	124
Figura 73 – Correção Take Five	125
Figura 74 – Sobreposições gráficas	126
Figura 75 – Atualização da Referência do Compasso	127

Figura 76 – Tutorial cursor animado	128
Figura 77 – Processo de desenvolvimento por feedbacks	129
Figura 78 – Análise Visual: Señorita	132
Figura 79 – Análise Visual: Simetrias Musicais	133
Figura 80 – Melhoria de sobreposição: Aquarela do Brasil	134
Figura 81 – Música: Machine Gun	134
Figura 82 – Polar Bubble Chart: Garota de Ipanema	135
Figura 83 – Eventos Musicais	136
Figura 84 – Visualização por seleção de tracks(pistas)	136
Figura 85 – Análise Pistas Yesterday	138
Figura 86 – Card para exploração de problemas complexos na área de Música	139
Figura 87 – Processo de Prototipação	142
Figura 88 – Relevância da temática	143
Figura 89 – Feedbacks Sessões Generativas	143
Figura 90 – Variação	145
Figura 91 – Referência do Compasso Parametrizada	146
Figura 92 – Parametrização da granularidade	147
Figura 93 – Visualização Musical- Garota de Ipanema	148
Figura 94 – Mandrit - Mandalas do Ritmo	148
Figura 95 – Fluxo de Repositório Mandrit	149
Figura 96 – Aplicação Mandrit	150
Figura 97 – Música Popular Brasileira	151
Figura 98 – Gêneros Musicais	153
Figura 99 – Encontrabilidade Informações Musicais	154
Figura 100 – Resultados representativos	155
Figura 101 – Avaliação do Bubble Chart	156
Figura 102 – Desafios cognitivos da Visualização estática	158

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Representações Musicais em MIR	40
Tabela 2 – Representações Visuais	52
Tabela 3 – Esquema de Macroanálise	79
Tabela 4 – Escolha de Músicas geniais	82
Tabela 5 – Categorização Esboços musicais	92
Tabela 6 – Ciclos de Sessões Generativas	96
Tabela 7 – Planilha de dados Rítmicos	107
Tabela 8 – Músicas para Análise	131
Tabela 9 – Parâmetros Visualizações musicais	144
Tabela 10 – Parametrização Janela de Análise	146
Tabela 11 – Desafios de Automatização da Representação	158

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BPM	Batidas Por Minuto
CI	Ciência da Informação
CSV	Comma-Separated Value
DAW	Digital Audio Workstation
DT	Design Thinking
f	Forte
ff	Fortíssimo
IHC	Interação Humano Computador
MIDI	Musical Instrument Digital Interface
MIR	Music Information Retrieval
MPB	Música Popular Brasileira
p	Piano
pp	Pianíssimo
PPQ	Pulsos por semínima
SMF	Standard MIDI Files
UBC	União Brasileira de Compositores

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	PROBLEMA DE PESQUISA E MOTIVAÇÕES	19
1.1.1	Perguntas de Pesquisa	21
1.2	OBJETIVOS DE PESQUISA	21
1.2.1	Objetivo Geral	21
1.2.2	Objetivo Específico	21
1.3	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	22
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	23
2.1	MÚSICA COMO INFORMAÇÃO	23
2.1.1	Informação musical sob a luz da semiótica	25
2.2	REPRESENTAÇÕES DA INFORMAÇÃO MUSICAL	29
2.2.1	Comunicação visual na música	31
2.3	VISUALIZAÇÃO DE INFORMAÇÃO	35
2.4	MUSICOLOGIA COMPUTACIONAL	37
2.5	VISUALIZAÇÃO COMPUTACIONAL DA MÚSICA	39
2.5.1	Visualização de Metadados Musicais	41
2.5.2	Visualização Sonora	45
2.5.3	Visualização Musical Simbólica	48
2.5.4	Considerações Gerais	55
3	METODOLOGIA	58
3.1	PESQUISAS PRELIMINARES	61
4	ESTUDO DE CASO: COMUNICANDO VISUALMENTE A MÚSICA	66
4.1	PROBLEMATIZAÇÃO	66
4.1.1	Pergunta Provocativa	66
4.1.2	Os elementos estruturais da música	68
4.2	IDEAÇÃO	71
4.2.1	Experimento Piloto	73
4.2.2	Workshop de co-criação	76
4.2.3	Esboços de Visualizações Musicais	80
4.2.4	Resultados Sessões Generativas	92
4.2.5	Seleção do Conteúdo: Ritmo	97
4.3	PROTOTIPAÇÃO COMPUTACIONAL	99
4.3.1	Extração de informações rítmicas	101

4.3.2	Geração de Visualizações	109
4.3.3	Projetando Gráficos do Mandrit	112
4.4	AVALIAÇÃO	129
4.4.1	Análise de Informações Musicais	130
4.5	CONSIDERAÇÕES GERAIS	138
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	141
5.1	DIRETRIZES PARA DESENVOLVER VISUALIZAÇÕES MUSICAIS	141
5.2	APLICAÇÃO MANDRIT	144
5.2.1	Visualizando músicas brasileiras com o Mandrit	151
5.3	DISCUSSÕES RESULTADOS	156
5.4	LIMITAÇÕES DO ESTUDO	157
6	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	161
6.1	CONCLUSÃO	161
6.2	TRABALHOS FUTUROS	162
REFERÊNCIAS		163
APÊNDICE A – PROTOCOLO WORKSHOP CO-CRIAÇÃO . . .		171
APÊNDICE B – RESULTADOS ESBOÇOS COM GRUPO FOCAL		175
APÊNDICE C – EXTRAÇÃO DE INFORMAÇÕES RÍTMICAS DO		
MIDI		176
APÊNDICE D – CÓDIGO PROCESSING: GERAÇÃO DE VISUA-		
LIZAÇÃO		178

1 INTRODUÇÃO

A Música encanta e fascina a humanidade por muito tempo. É capaz de despertar sentimentos e emoções, contém dados abstratos de características subjetivas que possuem uma complexidade nata em ser mensurados e analisados. A música por definição no vocabulário é a "arte de combinar harmoniosamente a expressividade de sons", mas não só isso, na literatura a expressão musical envolve práticas culturais e humanas que recebem influências de diversas características sociais. Apesar de não haver histórico datado de sua primeira experimentação não há sociedade que não a tenha vivenciado, (SCHAEFFNER, 1958) destaca que o desenvolvimento da música se dá por meio da comunicação das realidades sociais desde o homem primitivo com os sons, assobios, cantos e gestos ao redor do fogo, vindo muito antes até da linguagem verbal. E como complementa (SILVEIRA, 2014, p.02) a música também define-se pela expressão artística que "envolve inúmeros indivíduos enquanto sujeitos ativos e participativos e se iniciam desde o nascimento e que perpetuam pelo decorrer de todas as suas vidas". Ou seja, tudo isto integra um conjunto de processos de natureza ricamente expressivas e comunicativas.

Neste trabalho, quando falamos de comunicação da informação musical associamos ao estudo estrutural dos elementos da música: a melodia, harmonia, ritmo e o timbre. Neste caso, estudiosos de Musicologia, os chamados etnomusicólogos já desenvolvem trabalhos analíticos com a investigação e estudo destas informações musicais pelos fundamentos da Teoria Musical, desde a sua composição, execução da performance até a sobre como se dá sua apreciação. Para (FORNARI, 2019) esta área sistematiza o estudo de formas, expressões, aplicações, perspectivas e objetivos na música. Mas por outro lado, verificamos que as informações musicais quando tratadas analiticamente como em (WEN, 2017), as explicações dos seus conceitos na literatura acabam em densos e longos textos técnicos ou baseados em partituras. Além de que há uma escassez de estudos na literatura e nas soluções de mercado que possibilitem estudos mais aprofundados da música enquanto objeto de comunicação, e utilizando por exemplo de destas recursos visuais e computacionais para explorar estas informações musicais para facilitar a apreensão dos seus conceitos.

Nos contextos atuais, também temos a crescente demanda pelo acesso a informação facilitado pela disponibilidade de dados abertos que permitem a criação de soluções para problemas diversos. Na área de música, há o acesso a coleções de obras musicais que é amplamente difundido via Web facilitando a coleta de grandes quantidades de informações musicais compactadas em formatos de arquivos como MP3, WAV, MIDI e também pelo compartilhamento Peer-to-peer(P2P) que são a potência da indústria musical atualmente, devido aos serviços streaming para distribuição de dados nas mídias digitais que possibilita uma nova forma de consumir música. Consequentemente também há uma mudança da forma de armazenar e utilizar dados, na figura 1 demonstramos dados brutos transmitidos

de um arquivo MIDI e diante de tantas informações musicais, é necessário tratar, filtrar e gerar soluções tecnológicas acessíveis e comunicáveis para estas informações.

Figura 1 – Dados MIDI transmitindo informações musicais

Fonte: Os autores

A Musicologia Computacional, permite com os recursos de software realizar manipulações para estudo destas informações musicais. Como em (KRÖGER et al., 2008) que aplica a musicologia computacional para realizar análises automáticas de harmonia dos corais de Bach e ressalta que "o auxílio do computador é importante porque pode ajudar a identificar elementos musicais em um grande corpus musical em um tempo curto". Trazemos como adendo a Visualização da Informação que auxilia a utilização desses recursos de software como meio para organizar, tratar, criar e gerar representações gráficas que modelam formas e comunicações visuais de conjuntos de dados musicais. (CAVALCANTI, 2013) relata sobre a capacidade dos profissionais da informação em significar estas informações em formato de comunicação, e do seu papel no trato sensível do sujeito, para permitir novas realidades com práticas orientadas e atividades que operacionalizem não apenas o tratamento mas a recuperação de memórias, para realizar estudos sistemáticos e epistemológicos no campo de estudo da informação musical.

Sendo assim, esta pesquisa sistematiza formas de comunicar visualmente informações musicais através de representações gráficas e suas propriedades permitindo transmitir mensagens de forma visual. Visando potencializar a apropriação e compreensão dos elementos básicos e estruturais da música para oferecer aos músicos e artistas uma outra perspectiva a partir da experimentação de recursos gráficos para gerar novas combinações das suas expressões artísticas.

Com desenvolvimento de um estudo de caso de comunicação visual da música - realizado em colaboração com usuários especialistas profissionais e estudantes, das áreas de Música e Design- onde documentamos estruturalmente um protocolo experimental baseado na abordagem *Design Think* aplicado através de um processo cíclico a execução das etapas de Problematização, Ideação, Prototipação e Avaliação. Que possibilitou uma investigação categórica dos tipos de visualizações musicais existentes atualmente, a seleção de informações pertinentes para comunicar na música, até os processos criativos e analíticos de uma visualização.

Trazendo como resultado duas contribuições importantes, a primeira são 5 diretrizes de como gerar visualizações musicais são elas: i) Observação técnica e participativa centrada no usuário para explorar informações musicais a comunicar visualmente. ii) Categorização e seleção de tipo de visualização a desenvolver. iii) Exploração do processo criativo auxiliado por recursos computacionais, para gerações de visualizações automáticas pela extração, tratamento, filtragem dos dados musicais e aplicação em estruturas visuais. iv) Realização de processos cílicos de ideação, prototipação e avaliação com coleta de *feedbacks* e testes de fidelidade. v) Comunicação, compartilhamento e disseminação dos resultados para fortalecimento da comunidade.

E a segunda contribuição, é a aplicação web *Mandrit*, que resultou do processo de implementação e prototipagens relacionadas a aplicação das diretrizes citadas anteriormente. Um sistema gerador de visualizações estáticas que proporciona a realização de análises do ritmo pelas visualizações musicais de maneira automatizada. Permitindo validar hipóteses com usuários, realizar coletas de impressões qualitativas e quantitativas em relação aos três tipos de gráficos que plotam assinaturas rítmicas, através de extrações de informações temporais e da fórmula do compasso dos arquivos MIDI. Verificamos que enquanto ferramenta mostrou-se vantajosa permitindo análises comparativas do ritmo em obras musicais diversas, auxiliando no ensino dos conceitos rítmicos, em análises de arranjos e experimentação audiovisual.

Contudo, também houveram desafios no processo de transformação da informação rítmica em elemento visual e entendemos que o processamento cognitivo musical é subjetivo e baseado em bagagens individuais - experimentais e teóricas - pela percepção, assimilação e execução das informações musicais, estes são fatores que se tornam inerentes a músicos e profissionais da área que com um determinado tempo de estudo e de prática conseguem ter relações diretas do pensamento musical ao ato de tocar ou perceber elementos visuais associados aos musicais. Mas ainda assim não generalizável e determinados conceitos são complexos pela natureza e dificuldade de explicar a música. Para não-músicos ou iniciantes a curva de aprendizagem é ainda mais alta, devido as dificuldades no estudo da Teoria Musical. Assim, é natural que cada indivíduo tenha referências únicas para interpretar e relacionar-se com a música considerando suas diferentes vivências. Denotamos que tudo isto dificulta a aplicabilidade e aumenta os desafios computacionais que permeiam essa

camada estruturante das informações musicais, portanto necessitam de mais investigações enquanto campo de pesquisa.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA E MOTIVAÇÕES

Comunicar visualmente uma informação musical é algo complexo. Por isso, há uma carência de pesquisas que desenvolvam visualizações musicais para representar as informações estruturais e os elementos básicos da música. Em consequência também são escassos estudos na literatura da área de Visualização Computacional de Informação Musical, pois o seu caráter interdisciplinar também trás segregações de definições ainda não unificados. Além disso, quanto ao desenvolvimento de ferramentas para área ainda tem muito a avançar pois como pondera Cantareira (2014) há uma complexidade da música sob o ponto de vista computacional devido ao conteúdo musical conter muitas vezes caráter subjetivo, de informações abstratas e depender muito da interpretação humana enquanto arte que é. Lesaffre et al. (2008) sugere que gênero, idade, habilidade musical, musicalidade ativa, amplitude de gosto e familiaridade com a música influenciam na descrição semântica da música. E com um largo estudo na percepção do usuário para recuperação da informação musical relaciona categorias de descritores semânticos são eles: afetivos / emotivos, estruturais e cinestésicos. Todo esse cenário, traz como reflexo a complexidade de análise e extração das informações musicais, pois são diversos:

Os desafios relativos à representação, classificação e organização da informação são apontados como abordagens centrais nas pesquisas de recuperação da informação na era digital. É importante destacar que as pesquisas na área de recuperação da informação da música no Brasil são praticamente inexistentes na literatura da Ciência da Informação e áreas conexas.(SANTINI; SOUZA, 2016, p.02-03)

A comunicação de uma informação tem como embasamento fundamentos de Ciência da Informação (CI) e sua subárea a Visualização de informação, e com elas é possível aplicar técnicas de computação gráfica para desenvolvimento de gráficos, manipulação e criação de formas personalizáveis para visualizar uma informação musical permitindo estudos analíticos para compreensão de um conjuntos de dados (FREITAS et al., 2001). Neste sentido, ao mapearmos na literatura trabalhos existentes de visualização de informação musical há avançadas ferramentas voltadas para relacionar metadados documentais, ou seja, focados em descrever e demonstrar "influências artísticas", "estilos musicais", "aspectos históricos" por visualizações de redes como o LinkedJazz (PATTUELLI et al., 2013), Music-timeline, (CICHOWLAS; LAM, 2014), Musicmap (CRAUWELS, 2016). Mas a abrangência de ferramentas é minimizada quando tratamos da discussão e estudo dos elementos musicais principalmente em formato de comunicação visual.

Por outro lado, também temos a comunidade da área de Música, que obtém todo conhecimento, viabilidade e domínio dos conceitos elementares e estruturais da música.

Mas enfrentam obstáculos em relação a área tecnológica, onde há relatos de músicos em fóruns e blogs de música, sobre a dificuldade de interação com as interfaces existentes, muitas vezes devido a linguagens totalmente diferente de suas realidades como o *Music21* (CUTHBERT; ARIZA, 2010), que necessita de noções de linguagem de programação para realização de análises. Em consequência, são raros os profissionais que se atentam ou despertam o interesse em experimentar ferramentas computacionais para apoio a sua prática.

A motivação desta pesquisa está relacionada a proporcionar com a comunicação visual, reunir e conectar estas áreas com o objetivo de facilitar a compreensão e despertar o olhar para novas representações das informações musicais. Atualmente a Música, tem sua importância e valor entregue a sociedade sendo regulamentada por lei e incluída nos processos de formação pelo eixo de Arte no PCNs (Parâmetros Curriculares Nacionais), enfatizamos o trecho sobre a importância do estudo e aplicação da música em diversos âmbitos as habilidades: na escuta, apreciação, envolvimento e compreensão da linguagem musical. O documento ainda denota que devemos levar em consideração as diversas possibilidades de uso da música como meio comunicativo,

A percepção e identificação dos elementos da linguagem musical (motivos, forma, estilos, gêneros, sonoridades, dinâmica, texturas, etc.) em atividades de apreciação, explicitando-os por meio da voz, do corpo, de materiais sonoros disponíveis, de notações ou de representações diversas. (BRASIL, 1997, p.55)

Mas apesar da importância da música, a realidade atualmente é outra segundo a União Brasileira de Compositores (UBC) há uma cultura de desvalorização da música enquanto instrumento de formação integral no Brasil, devido a flexibilização da medida provisória nº 746, de 2016, que tornou o ensino de artes compulsório apenas na educação infantil e no ensino fundamental (OLIVEIRA, 2018). Sendo assim, mostra-se necessário o desenvolvimento de abordagens exploratórias das informações musicais, especialmente na perspectiva de análise da música brasileira pois também abre possibilidades em dar visibilidade aos elementos ímpares da música como patrimônio cultural imaterial do Brasil, além de demonstrar o quanto pode de ser potencializada pelo apoio da tecnologia.

Todos estes aspectos teóricos e contexto de estudo fundamentam a motivação dos autores e a relevância desta pesquisa, construída pela hipótese de como comunicar informações musicais por meio dos recursos visuais. Visando estudar processos criativos e composticionais de estruturas musicais, e como consequência demonstrar e analisar visualizações musicais de obras e artistas brasileiros. Para contribuir na documentação e exploração de nossa musicalidade, que segundo Queiroz (2004) é rica na pluralidade musical, a conceitos e comportamentos que a música estabelece dentro de cada cultura, totalmente relacionada com a representação social plural do Brasil em gêneros, ritmos e instrumentais diversos. Enfatizamos que o estudo de caso deste trabalho faz um recorte na área de estudo do

ritmo, para fomentar suas discussões na literatura que são escassas principalmente pelo aspecto computacional.

Para validar a hipótese, realizaremos a aplicação do protocolo experimental a partir de coletas de dados cíclicas e colaborativas com os músicos, para geração de esboços de visualizações musicais para posterior seleção e desenvolvimento das mesmas através de recursos de software. Visando representar as informações elementares da música, e transformar as visualizações de obras musicais em objeto de comunicação, entendendo contextos, possibilidades de desenvolvimento com prototipações de baixa e alta fidelidade, até obter como resultado as visualizações e com elas realizar análises e validações qualitativas dos conceitos musicais representados.

1.1.1 Perguntas de Pesquisa

Dentro desse contexto puderam surgir alguns questionamentos e levantamos as seguintes perguntas de pesquisa:

- (1) Como a visualização computacional de informações musicais podem melhorar a comunicação de elementos estruturais da música?
- (2) Como automatizar o processo de comunicar informações musicais?

1.2 OBJETIVOS DE PESQUISA

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo desta pesquisa é investigar como os recursos de software podem ser úteis para melhorar a comunicação e análise de informações musicais por meio de representações gráficas. Espera-se com o estudo poder contribuir e fomentar a área de pesquisa de Visualização de Informação Musical, que ainda é pouco explorada computacionalmente. E por fim provocar reflexões sobre a importância da valorização dos aspectos da música para nossa sociedade.

1.2.2 Objetivo Específico

Para isto definimos que os objetivos específicos seriam:

- (1) Realizar revisão de literatura das áreas de Musicologia e Visualização de Informação Musical.
- (2) Propor a aplicação de um protocolo experimental que auxilie na identificação de problemáticas na área de Música, através de coleta de dados exploratórias.
- (3) Sistematizar e compreender o processo criativo de geração de Visualizações de Informações Musicais, para posteriormente analisar, tratar e indicar diretrizes de como gerar visualizações de informações musicais.

- (4) Explorar processos de prototipagem com ferramentas e métodos de Design para comunicar informações musicais de maneira automatizada com o desenvolvimento de software.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A saber, esta dissertação está escrita em seis capítulos. Os quais se subdividem em relação aos momentos de desenvolvimento da pesquisa. A começar pela introdução, no capítulo 1. A fundamentação teórica apresentada no capítulo 2, onde trazemos as bases teóricas com as Ciências que regem a pesquisa com a interdisciplinaridade das áreas de Música, Ciência da Informação e Musicologia Computacional. Sendo contextualizadas com o estado da arte sobre a temática de Visualização musical, coletando conceitos desde a descrição de elementos fundamentais a diferentes formas de representar a música, com uma breve análise exploratória e mapeamento de trabalhos já desenvolvidos auxiliados por computador para geração de aplicações e sistemas para visualização musical.

No capítulo 3, partimos para abordagem prática com uma pesquisa preliminar, onde definiu-se a utilização da metodologia de Design Thinking como norteadora para investigação das problemáticas no estudo da informação musical, mostrando resultados de coletas exploratórias para selecionar o problema de pesquisa.

O capítulo 4, está descrito como foi realizado o estudo de caso deste trabalho, com quatro etapas: Problematização, Ideação, Prototipação e Avaliação. Onde apresenta-se resultados de coletas de problemáticas, experimentos de Workshops de Co-criação de visualizações musicais realizados com participantes durante entrevistas individuais, descrição de mapas de narrativas, geração de esboços com ideias e discussões guiadas. E por fim o desenvolvimento e validações da Aplicação MandRit de geração de visualizações rítmicas com base em músicas MIDI.

O capítulo 5 apresenta-se os resultados e as análises feitas com o MandRit. Este capítulo também esclarece algumas limitações deste estudo. Para finalizar, no capítulo 6, dissertamos sobre as conclusões finais da pesquisa, em como a proposta fomenta as pesquisas na área e possíveis desafios para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

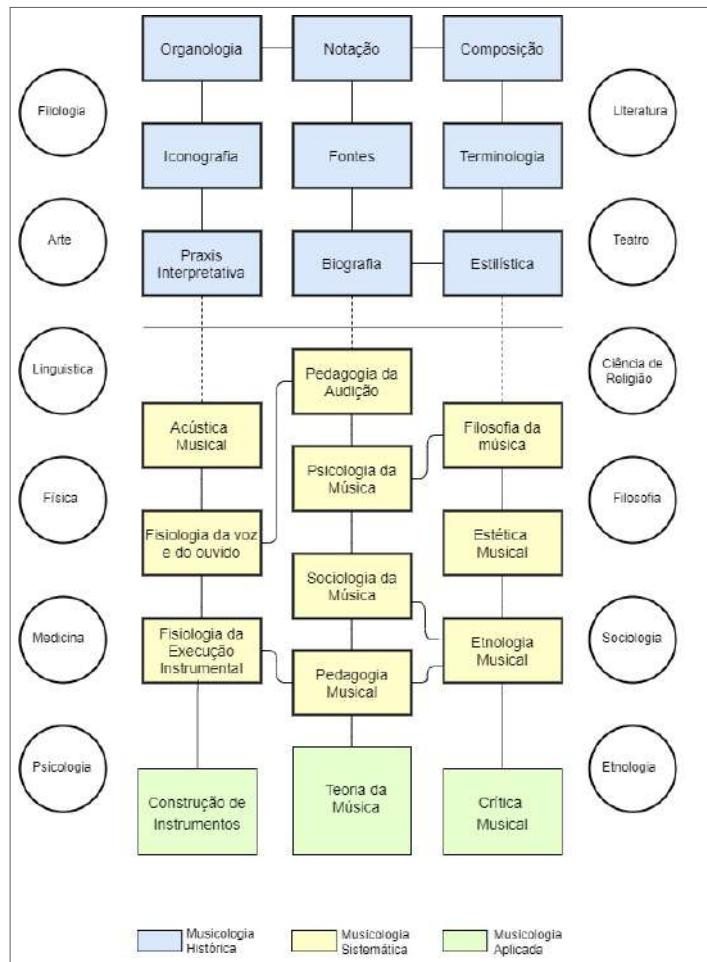
2.1 MÚSICA COMO INFORMAÇÃO

A música possui uma grande quantidade de informações interessantes e ricas em caráter subjetivo que muitas vezes são difíceis de visualizar, provocando inquietações suscetíveis a investigações. Para (REIS, 2016, p.5) "música é a própria emergência do real carregado de vigor e enquanto experiência concreta é a reunião de saberes, linguagem, escuta, sentido, verdade e memória". Como arte, amplifica horizontes e discussões pela capacidade de abstração nos seus processos de apreensão. (MORAES, 1983) defende que a música integra uma coletividade, mas que enquanto linguagem musical não é universal pois possui manifestações individualistas se concretizando de maneiras muito diferentes em cada comunidade. Sendo assim, o processo de apreensão da informação musical depende de diversos fatores conceituais, sociais, sensitivos e estruturais (Melodia, Harmonia, Ritmo).

Além disso, também há diferentes perspectivas de interpretação relacionada a leitura e prática musical, Lambert (2018) ressalta que os perfis dos interpretante são quem definem os objetivos, por exemplo a música - para físicos, matemáticos, psicólogos, assim como um ouvinte leigo - sempre terá um ponto de vista totalmente diferente em relação a um músico, pois para ele há um envolvimento direto e pessoal no processo de criação, recriação e audição musical. Já para um professor de música que tem como objetivo o ensino a relação é ainda mais sensível, didática e focada em comunicar as informações musicais, buscando entender as dificuldades de aprendizagem do aluno e aprimorando-se durante o processo.

A interdisciplinaridade da música permite que ela seja utilizada como objeto de estudo aplicável a diversas áreas anexas. Michels (1987) em seu livro "Atlas de Música" faz um mapeamento sistemático sobre seus campos e ciências auxiliares, como demonstramos no diagrama da figura 2 norteando e estabelecendo níveis e enfoques teóricos das camadas da informação musical e suas respectivas aplicações.

Figura 2 – Música: Campos parciais e ciências auxiliares



Fonte: (MICHELS, 1987)

Neste diagrama o autor subdivide a informação musical em três grandes áreas, a "Musicologia histórica", "Musicologia Sistemática" e "Musicologia Aplicada". Enfatizamos nesta pesquisa a Musicologia Aplicada, pois nela está a camada mais prática de estudo da informação musical, com ela podemos trabalhar na Construção de Instrumentos, realizar estudos de Teoria Musical e Análise Crítica Musical.

Como vemos são diversos os níveis de camadas da informação musical, notamos que há relações indissociáveis por influências hierárquicas de alguns conceitos fundamentais, como as camadas de Composição, Notação, Estética e da Psicologia Musical. Esta última, é essencial para compreendermos a percepção musical em pesquisas de cognição musical (MEIRELLES; STOLTZ; LÜDERS, 2014), que estuda as estruturas cerebrais juntamente com a Neurociência, permite explorar percepção dos estímulos auditivos, por meio do reconhecimento do som até e de seus elementos básicos como altura, duração, timbre, intensidade.

Na Psicologia Musical, a percepção é baseada nas estruturas cerebrais organizam hierarquicamente a sintaxe musical, podendo associá-las ao entendimento da forma para

sua compreensão (ROCHA; BOGGIO, 2013). Por outro lado, é complementada e composta, por seu caráter emocional e apelativo que está totalmente relacionado com a experiência sensorial auditiva.(SILVA, 2019b) Os efeitos positivos da experiência musical, são aplicáveis inclusive na Musicoterapia, que é a prática de música atuando no contexto clínico auxiliando na recuperação e tratamento de saúde.

A musicologia sistemática, "trata da pesquisa empírica, baseada na análise de dados"(FORNARI, 2019). Também enfatizamos seu estudo pela estética musical que enriquece as discussões com exemplos documentais e ilustrados da música pelos princípios visuais dispostos por exemplo, em partitura, como "uma dimensão estética de informação, memória, cognição, sensibilidade e conhecimento da obra musical."(CAVALCANTI, 2013, p.16) Desta forma, a estética musical, está totalmente relacionada com a aproximação para o campo informacional, especificamente na mediação do sujeito com as dinâmicas interacionais do conhecimento, alargando as fronteiras da mente para novas formas de apreender o mundo.

Por outro lado, definir estética musical, é considerado como um eterno problema para os músicos, considerando que "a estética musical demonstra a problemática do campo da temporalidade musical – ou atemporalidade – da matéria musical e suas formas abstratas que afetam de maneira direta o homem, denominados fantasias, tratados como o belo."(OLMEDO, 2013, p.9) Ou seja, a natureza do significado musical podem diferir a partir de questões externas a própria música, o surgimento de originalidades é um exemplo, levando em conta que cada ser que a executa também possui suas individualidades de expressão, enriquecendo diretamente a estética.

Mas estes elementos são repletos de incógnitas, principalmente pela sua camada subjetiva, por isso há grandes desafios na sistematização de tais informações e no seu tratamento. Mas acreditamos que com o auxílio das técnicas de Music Information Retrieval (MIR) e de Ciência da Informação, respectivamente podemos usar dos recursos de computacionais para auxiliar na extração de dados musicais a fim de materializá-los em formato de informação, e com ela possibilitar comunicar fenômenos musicais. Enriquecer discussões sobre percepções, análises e estética musical, e ainda experimentar novas possibilidades de visualizar a música.

2.1.1 Informação musical sob a luz da semiótica

Fundamentalmente a semiótica é apresentada por Netto (2002) como a noção de signo que permeia toda a existência, amplifica a visão exclusiva da comunicação humana passando a abordar outras formas de representação que o homem faz do seu universo, estabelecendo assim um elo comunicacional entre as coisas do mundo. Os apontamentos da semiótica é que,

"O homem só conhece o mundo porque de alguma forma, o representa e só interpreta essa representação numa outra representação. Que Perce,

denomina em seus três pilares como signo, objeto e o interpretante. Ou seja, para conhecer e se conhecer o homem se faz signo e só interpreta esses signos traduzindo-os em outros signos."(SANTAELLA, 2012b, p.80)

Sendo assim, podemos afirmar que a música é estruturada com sua própria semiótica, e pode ser consideravelmente instituída como base nas suas próprias representações musicais. Utilizando o conceito da teoria fundamentadora da semiótica, a tríade de Perce, precisamos ter o discernimento de que ao tratar da música, as informações musicais são o objeto, e a representação gráfica já é o próprio signo. Mas que por necessidade de conhecê-la e interpretá-la surgem os seus interpretantes, seja uma notação musical, a letra de uma música, ou até mesmo um gráfico de análise musical.

"A Semiótica da música é portanto a ciência que oferece visão estrutural flexível e ferramentas teóricas adequadas ao estudo de questões de significação musical nas diversas disciplinas musicais de um grau de especialização maior, tais como o estudos dos sistemas musicas(modalismo, tonalismo, serialismo, aleatorismo, música eletro-acústica, etc) e suas técnicas(harmonia, síntese), história da música estética musical, e assim por diante."(MARTINEZ, 1999, p.08)

Nesse sentido, estudo da semiótica no contexto de estudo da informação musical permite um crescimento extenso no campo das análises musicais. Pesquisas estas que são realizadas pelos etnomusicólogos, pesquisadores e profissionais de Musicologia, como percursores no estudo da música pelos seus aspectos informacionais etnográficos, já utilizando metodologias analíticas e descritivas para explicar determinados fenômenos musicais. Segundo Tarasti (2008) a semiótica musical teve como seu precursor o etnomusicólogo Ernst Kurth, as ideias deste autor se mostraram particularmente úteis como contrapeso aos métodos taxonômicos e segmentos da análise semiótica da música nos anos 1980. E buscou compreender a música segundo a concepção de natureza contínua e "energética", ou seja pela energia cinética pulsante por trás das notas, identificadas através dos sinais percebidos pelo sentido auditivo, enfatizando a natureza temporal da música e a "experiência do movimento."

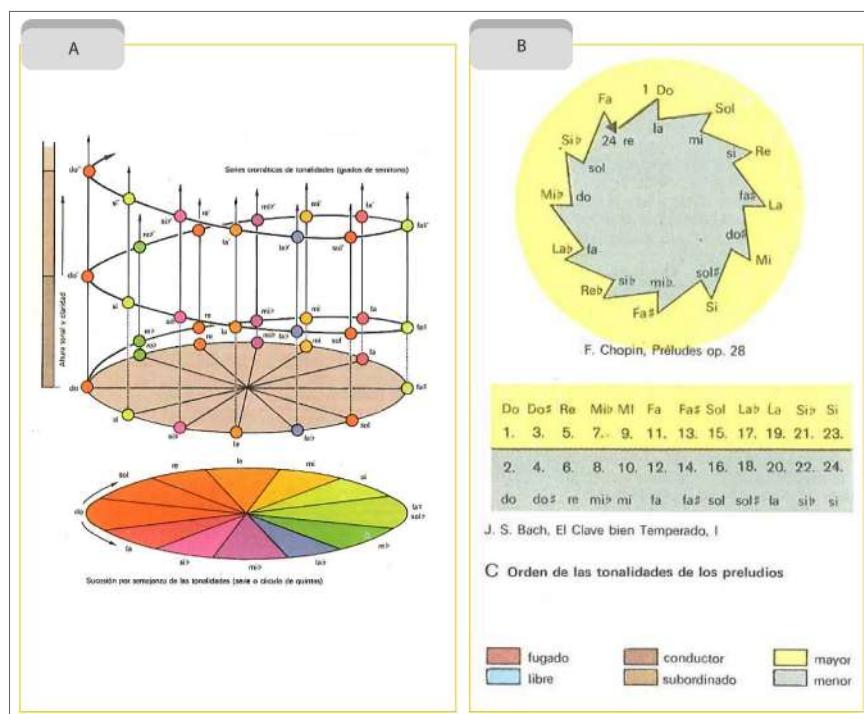
Além do trabalho sistemático de Leonard B.Meyer citado também por Tarasti (2008 apud MEYER, Leonard B., 1973, p.52) em "Explicando a Música", que traz um modelo de análise pelas expectativas musicais considerando que o início de uma peça musical implica uma certa continuação e um fim, e durante esse processo são determinados arquétipos melódicos, como simetria, eph tríade, o princípio do "preenchimento vazio". Nas análises há uma predominância na descrições desses elementos através de documentação textual, oral, ou por exemplificação de partituras. Mas Tarasti (2008, p.20) ainda ressalta que a música não deve ser interpretada aderindo cegamente à notação, e não se restrinja apenas a esta representação, e incentiva a criação de novo signos visuais da música para alcançar realidades conceituais, estéticas, axiológicas e epistêmicas. Por isso propomos também que sejam aplicados outros meios para realização de análises musicais como por gráficos musicais, e sejam complementadas por métodos descritivos.

(MATTOS, 2006) em seu método analítico descritivo, subdivide a análise musical em três níveis analíticos: (1) *microanálise*, inclui análise detalhada do ponto de vista melódico, harmônico e rítmico; forma e textura em seu menor nível; como também detalhes mínimos de orquestração e timbre. (2) *análise intermediária* lida com relações entre frases e outras unidades de extensão média, além de tudo aquilo que virtualmente não se enquadrar dentro de categorias muito amplas ou muito pequenas. E (3) *macroanálise* inicia-se com a descrição de características como o meio vocal ou instrumental e a duração total da peça, seguindo em direção a eventos menos óbvios, tais como a disposição de eventos em larga escala ou considerações sobre o amplo movimento harmônico ou rítmico e variações de textura.

Estes critérios também podem se sobrepor, mas nesta pesquisa focamos no nível da *macroanálise*. Este tipo de método descritivo, facilita a associação da apresentação da forma gráfica pela análise de suas granularidades, para auxiliar estudiosos a compreender e explicar determinado conceito.

Demonstrar tais relações das informações musicais por estruturas visuais, traz um enriquecimento a leitura e compreensão da informação. O Atlas de (MICHELS, 1987) traz como exemplo diversos tipos de representações experimentadas pelo autor para explicar informações elementares visualmente, organizando-as de maneira totalmente didática, mediante a exposição de textos e gráficos coloridos que ilustram as relações das estruturas musicais, como na figura 3.

Figura 3 – Altura do som e Tonalidade

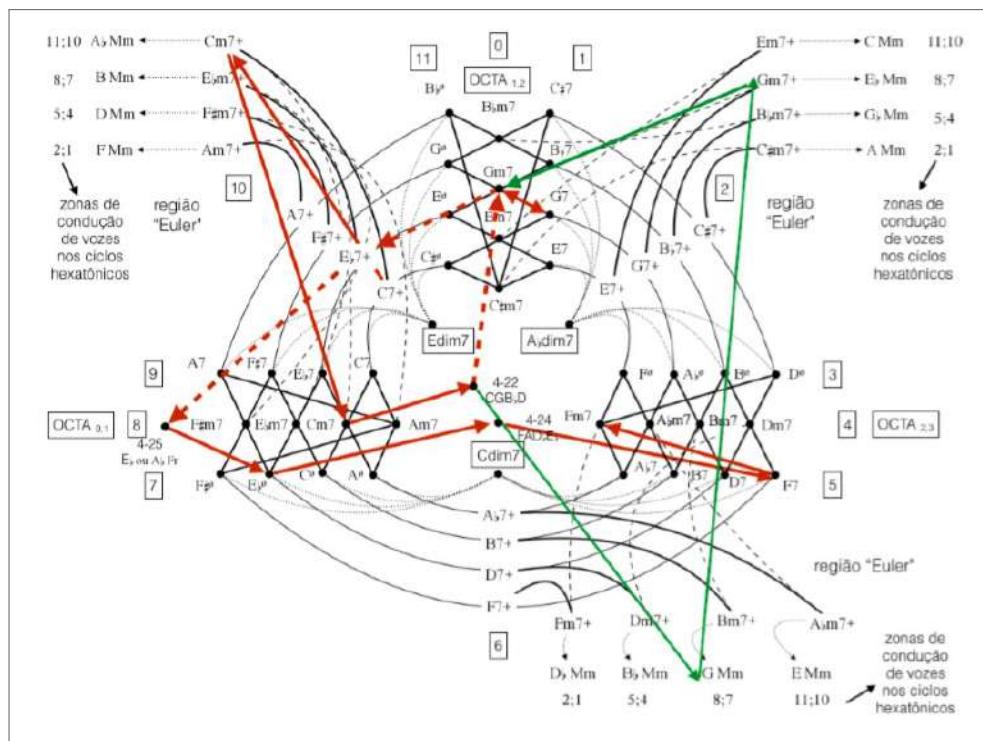


Fonte: (MICHELS, 1987)

(A) representa a Altura do som e Tonalidade, com base nas cores do círculo cromático, ordenando por semitons e sucessões cromáticas. Os quais ao aumentar a altura forma um espiral, além de relacionar as cores com frequências altas e baixas. Já em (B) Ordem de Tonalidade, em que ordena segundo o modelo de Bach, como ciclo das tonalidades, seguindo o ciclo das quintas, alternando tons maiores com seus relativos menores.

Assim como, Salles (2016) em sua análise da obra de Villa-Lobos, o qual demonstrou o que há de comum, entre os acordes de sétima e outros acordes representados na figura 4 demonstra a "torre de força" de Douthett e Steinbach que é baseada no sistema de análise musical de Riemann sobre a teorização das funções harmônicas. Que envolve estudos de acordes relativos e que visa proporcionar uma visão mais compreensiva do campo harmônico através das regiões de Euler. Conectando ciclos e reconhecendo relações, exploração das coleções referenciais e seus subconjuntos, suas mudanças de semiton são representadas pelo tracejado.

Figura 4 – Análise obra de Villas Lobos



Fonte: (SALLES, 2016)

De modo geral, o estudo das representações semióticas relacionados as informações musicais ainda são pouco exploradas. Por isso, a comunicação visual destas informações, a geração de novas visualizações gráficas, é altamente necessária, tendo como base os estudos da representação semiótica que segundo Silva e Nakagawa (2013) tem uma grande contribuição para as pesquisas na área da comunicação. Seja como um recorte de uma análise discursiva ou como instrumento de análise midiática. Por isso é importante destacar pesquisas atuais que tragam este contexto para buscar compreender e analisar

características musicais já existentes em determinadas obras, e gerar novas descobertas e formas de experimentação musical. E entendemos que com a Visualização da Informação, é possível permitir o acesso as informações musicais tornando-as mais comunicáveis, no entanto ainda são raros produções de estudos nessa linha. Mas como Barros e Café (2012) aponta é promissor o percurso de pesquisa na CI com a semiótica da música por permitir a exploração e aplicação de conceitos que fundamentem os princípios de significação da música tanto em nível emocional, corporal como intelectual. Por isso reforçamos que a visualização da informação musical, tem esta possibilidade de transformar conceitos complexos e abstratos, em comunicação visual e também como uma linguagem útil para desmistificar as barreiras para aspectos a serem compreendidos de maneira mais fácil a outros agentes ainda Barros e Café (2012) complementa que podem perpassar ouvintes, intérpretes, compositores especialistas e leigos.

2.2 REPRESENTAÇÕES DA INFORMAÇÃO MUSICAL

Quando falamos em representar uma informação musical, é natural que o pensamento imediato seja relacionado a notações musicais, como a partitura. Utilizada desde os primórdios no estudo da música como forma de linguagem visual para músicos e aprendizes, em sua completude é uma das formas escritas estabelecidas na área de música, que consegue incluir em sua representação os elementos fundamentais para execução de uma música, organizando em uma pauta os símbolos musicais e permitindo a comunicação entre os músicos. Sabendo que todo sistema de escrita que representa com símbolos uma peça musical, é chamado de notação musical.

"A notação musical é o registro gráfico dos sons. A chamada "notação musical tradicional" é constituída por notas musicais, usadas para registrar sons em relação a sua altura e duração. As partituras tradicionais são escritas com notas musicais, respeitando os padrões de escrita desenvolvidos ao longo da história da música ocidental." (CISZEVSKI, 2010, p.26)

A partitura, é uma ferramenta prática utilizada pelos músicos como recurso visual para auxiliar no acompanhamento e tomarem decisões harmônicas e rítmicas de acordo com a melodia. Nela a representação das notas musicais são dadas através das chamadas figuras musicais são elas que associam os valores de duração em relação ao tempo da música, silêncio/pausa, tonalidades registrando essas informações em formato de visualização. Os etnomusicólogos utilizam a partitura como objeto de análise musical para estudar e demonstrar visualmente, similaridades, características, realizar comparações descritivas de obras em relação aos seus gêneros, estruturas musicais e para compreender fenômenos musicais.

Como por exemplo, na figura 5 observamos que a obra sonatas do piano de Cláudio Santoro, Sonata 3º e 4º em Allegro-Sonata, e o autor realiza uma análise narrativa dos

conceitos que é possível enxergar através da visualização da notação ressaltando que "ilustram como uma obra pode se modelar em outra, e a similaridade entre duas obras já em seus compassos e gestos iniciais".(HARTMANN, 2018, p.120)

Figura 5 – Sonata 3º, compassos iniciais (1-2) e Sonata 4º, compassos iniciais (1-5)



Fonte: Retirada de: (HARTMANN, 2018, p.120)

No entanto, a partitura, por ser totalmente voltada para a cultura Ocidental, possui um histórico de pesquisas e base teórica muito mais rico direcionado a exploração do conteúdo Harmônico. Diante disto, (GRAEFF, 2015) destaca que a escrita musical clássica acaba por dispor de poucos recursos para indicar como a música soa e como seus sons são produzidos. Pois acaba por focar apenas na representação de alturas precisas de notas, de sua dinâmica (forte e piano), e da organização temporal divisível dos sons. E na prática quando aplicados em gêneros não-ocidentais, como o Samba por exemplo, sofrem de muita carência de informação. Por isso é necessário buscar outras formas de representar e visualizar algumas informações que podem ser perdidas por este sistema, esta é uma grande questão entre profissionais e pesquisadores de percussão rítmica por exemplo, pois nela não se apresenta todas informações do elemento rítmico e representa apenas o sistema de compassos.

A cifra, também é um outro estilo de notação musical que realiza a indicação harmônica de uma composição musical, sendo um dos mais comuns recursos visuais utilizados para auxiliar no andamento da música. Seus acordes são determinados por símbolos do sistema de escrita, como: C (Dó), D (Ré), E (Mi), F (Fá), G (Sol), A (Lá), B (Si), em alguns sistemas é disposta com seus símbolos referentes as notas posicionados em cima das palavras de cada frase da composição, como demonstra figura 6, no trecho da música "Tempo perdido, de Legião urbana".

Figura 6 – Sistema de disposição de cifras

C Todos os dias quando acordo Bm	Am7 Em Não tenho mais o tempo que passou
C Mas tenho muito tempo Bm	Am7 Em Temos todo o tempo do mundo
C Todos os dias antes de dormir	Am7

Fonte: (Cifra Club, 2020)

Esta é considerada para os músicos uma maneira mais fácil de interpretar e associar rapidamente elementos da estrutura musical. Pois a sua representação pela linguagem formal do sistema de escrita já simplifica o processo de memorização.

2.2.1 Comunicação visual na música

"a estrutura de uma composição musical tradicional é configurada por parâmetros de textura, densidade, dinâmica, desenvolvimento motívico, harmonias, melodias, frases, que podem ser percebidos e interpretados em conformidade com os princípios de organização da forma perceptual."(MORAIS; FIORINI, 2019)

Comunicar uma mensagem visualmente envolve a impressão visual por meio da percepção da forma. Tendo como fundamento os princípios da Teoria do Gestalt, Filho (2008) cria um sistema de leitura visual da forma que nos auxilia a proceder a concepção de objetos em termos de interpretação, análise e síntese da organização visual. E são diversos os fatores representacionais que estabelece: de organização, equilíbrio, agrupamento entre estímulos semelhantes, equilíbrio, clareza, contrastes (de cores, movimento, dinamismo), orientações, proporcionalidade, simetrias, assimetrias entre outros.

Dante do sistema de linguagem visual estabelecido na música, as figuras musicais são símbolos e exemplos reais de reconhecimento da forma que compõem uma obra musical, como descritas na figura 7, cada nota equivale a um tempo musical, e também são unidades representativas, as quais possuem seus determinados signos que os músicos se orientam para saber o tempo de duração das notas em uma composição musical.

Figura 7 – Figuras Musicais

Nomes das figuras das notas musicais	Figuras das notas musicais	Representação dos valores das notas musicais	Valor relativo das notas musicais	Valor dos tempos das notas musicais
Semibreve			1	4 tempos
Minima			2	2 tempos
Seminima			4	1 tempo
Colcheia			8	1/2 tempo
Semicolcheia			16	1/4 do tempo
Fusa			32	1/8 do tempo
Semifusa			64	1/16 do tempo

Fonte: Adaptada pelos autores de: (CANTAREIRA, 2014, p.120)

E quando são desenhadas em conjunto com outros elementos visuais sobre uma pauta, também conhecida como pentagrama, cinco linhas paralelas que dispõe neste espaço determinado as notas musicais. Pausa é o silêncio na música que tem duração variável, sendo que cada figura das notas musicais tem o seu tempo de silêncio correspondente.

Mas enfatizamos que para comunicar uma informação musical não necessariamente precisamos nos restringir apenas a estes modelos já existentes. Por isso Marques, Flores e Souto (2017, p.05) descreve que qualquer recurso ou meio que use representações gráficas para ajudar a transmitir uma mensagem ou instrução faz parte da comunicação gráfica. Para explorar processos comunicativos da música, é necessário primeiramente contextualizar o conceito de representação gráfica, fundamentado na Geometria Gráfica, que segundo Costa e Costa (1996, p.14) é:

O estudo através do desenho de qualquer propriedade de forma. Poderá ser bidimensional, estudando figuras planas diretamente no plano do desenho ou tridimensional, utilizando sistemas de representação, para estudar formas de três dimensões em desenhos planos.

No contexto musical, as representações gráficas são importantes para estabelecer relações entre entidades ou elementos de dados, representando graficamente os elementos visuais são eles formas, pontos, linhas, planos, volumes, cores, sombras, brilhos, texturas, e outros atributos. (OLIVEIRA; WILDNER; PRETTO, 2018), (MORAES, 1983, p.08) perceber a música também é explorar a "Invenção de linguagens: formas de ver, representar, transfigurar e transformar o mundo", e permitir criar novas composições, realizar transcrições e compreender fenômenos musicais.

Há contribuições de estudiosos da História das Artes, que buscaram também compreender as relações visuais da música em suas diferentes representações mas também em seu caráter criativo, especialmente na pintura com o desenho artístico. Como os teóricos do Movimento Construtivista, como Kandisky e Paul Klee, que debruçaram-se nas suas obras a relacionar os aspectos musicais e suas respectivas experiências visuais artísticas. E re significaram a arte pictórica, procurando representar no quadro, as possibilidades de existir inter-relação entre as Artes visuais e a música, por vezes também complementadas pelo sistema de escrita. A incorporação da temporalidade e tonalidade musical nas pinturas com relação das escalas cromáticas e a busca para tentar representar o que não se vê. Orozco (2015) Como por exemplo, na figura 8 referente a obra *Highway and Byways*¹, realizada em 1929 por Paul Klee.

Figura 8 – Pintura Highway and Byways



Fonte: Paul Klee.¹

Nesta obra o pintor e musicista, representa uma paisagem em registro a sua ida ao Egito, com uma verdadeira partitura cromática de formas geométricas, onde a faixa principal demarcada e luminosa pelas cores no centro do quadro. Segundo (BRAUN, Pierre, 2017), Klee em toda sua carreira procurou explicar as fontes da criação, tão conhecido por questionar a representação gráfica e pictórica a partir de elementos básicos. Adotando os seus elementos como, intervalos de tempo e ritmos associando-os a formas, graduações

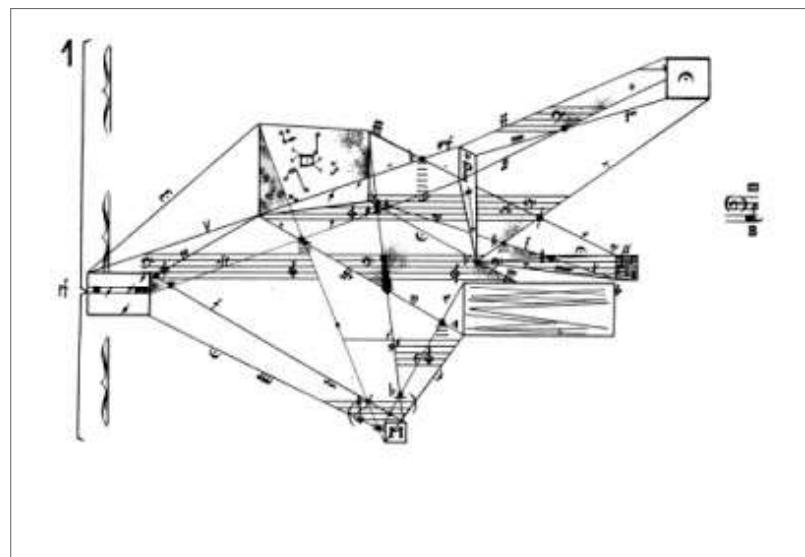
¹ Retirada de: <https://www.paulklee.net/paul-klee-paintings.jsp>. Acesso: 16 de março de 2019

tonais de cores complementares. Realiza em si um estudo autêntico da ordem das cores, tudo configurado com uma teoria dos movimentos.

Neste caso dos quadros, as propriedades visuais aplicadas passam a mensagem dos elementos abstratos da música, constituindo também como uma maneira de expressar e comunicar uma informação visualmente, ainda que subjetivamente. Valorizando assim os processos experimentais para verificação de possibilidades de representação da música, amplificando a visão para utilização de outros meios como o de materiais e dispositivos como esboços, desenhos, imagens, gráficos e tabelas plotados em diversos modelos de representação visual.

As notações gráficas, é um outro exemplo real que tem sido explorado por muitos compositores contemporâneos a fim de utilizarem seus modos de interpretação dos elementos musicais, através de suas próprias notações. Utilizando a representação gráfica como meio para desenvolverem suas ideias de composições, segundo Videla (2012) o precursor e formalizador deste movimento e seus estudos foi Léon Schidlowsky (1969) em "corpus gráfico", com seu conjunto de 115 obras escritas de forma gráfica. De todo modo, artistas e compositores da música contemporânea como Sylvano Bussoti, esboçam suas próprias formas visuais de interpretar ou criar suas músicas, como exemplo na figura 9, abaixo.

Figura 9 – Notação contemporânea: Sylvano Bussoti



Fonte: Notação Musical do século XX.²

Ainda utiliza alguns fundamentos base como as linhas da pauta, no entanto as divisões e eventos marcados por suas extensões das linhas são diferenciadas da tradicional. Esta notação musical contemporânea², é utilizada no sentido de demonstrar que os tempos e

² Retirada de: <http://notacionmusicalxx.blogspot.com/2010/04/notaciones-contemporaneas.html>. Acesso: 06 de abril de 2019

posições espaciais das notas musicais podem ser representadas de formas diferentes e até não-lineares.

A concepção que buscamos trazer nesta seção, é que a partir do momento que surgem inquietações sobre determinado conceito da música, ou nos processos de criação de composições musicais, surge também uma necessidade mútua dos músicos contemporâneos em transpassar as barreiras da visualização da partitura clássica. E decidem explorar novas formas de visualizar a informação musical, inclusive trazendo outros aspectos da representativos, criando suas próprias descrições para acompanhamento e consequentemente com suas próprias interpretações musicais. Nesta mesma linha, estimulamos que quando tais processos podem ser auxiliadas por computador, o seu desenvolvimento oferece ainda mais possibilidades de personalização e aplicação, saindo do campo apenas teórico, mas possibilitando a melhoria da comunicação e tornando o conhecimento musical mais acessível em seus estudos e representações.

2.3 VISUALIZAÇÃO DE INFORMAÇÃO

A Visualização da informação é uma subárea da CI, segundo Card, Mackinlay e Shneiderman (1999) "estuda o uso de representações visuais e interativos de dados abstratos e não baseados em aspectos físicos, com o propósito de ampliar, a cognição." Também chamada de Infovis (Visualização da informação), o autor a difere da Visualização científica, considerando que esta é aplicada a dados físicos científicos, geralmente numéricos e estatísticos.

Ambas se desenvolvem com o auxílio da tecnologia, com computadores e softwares, mas a Infovis utiliza e trata a informação enquanto objeto de comunicação incorporada pelos aspectos visuais como meio para implementar, organizar e transformar estruturas de dados complexos em representações visuais. Para facilitar o processo de cognição e ser complementares as características dos sentidos humanos para análise e compreensão de uma determinada informação.

A visualização de informação desenvolveu-se na década de 1990 juntamente com o crescimento dos softwares gráficos 2D para desktops e a adoção de PCs por designers sua popularidade acelerou nos anos 2000 os dois fatores chave são a fácil disponibilidade de grandes conjuntos de dados através de API's fornecidas pelos principais serviços de redes sociais desde de 2005 e novas linguagens de programação de alto nível projetadas especificamente para criação de gráficos como o *Processing*, e bibliotecas de software para visualização por exemplo, *Prefuse*. Manovich (2011)

A Visualização de Informação, tem como premissa a comunicação da informação de maneira objetiva, clara e simplificada visualmente. Enriquecida pelas propriedades gráficas, e seus parâmetros universais de geração, padronizando modelos de acordo com o objetivo da comunicação. Segundo Freitas et al. (2001) é uma área que permite combinar

aspectos de Computação Gráfica, Interação Humano-Computador para apresentar dados em forma gráfica visando facilitar a compreensão da informação para o usuário.

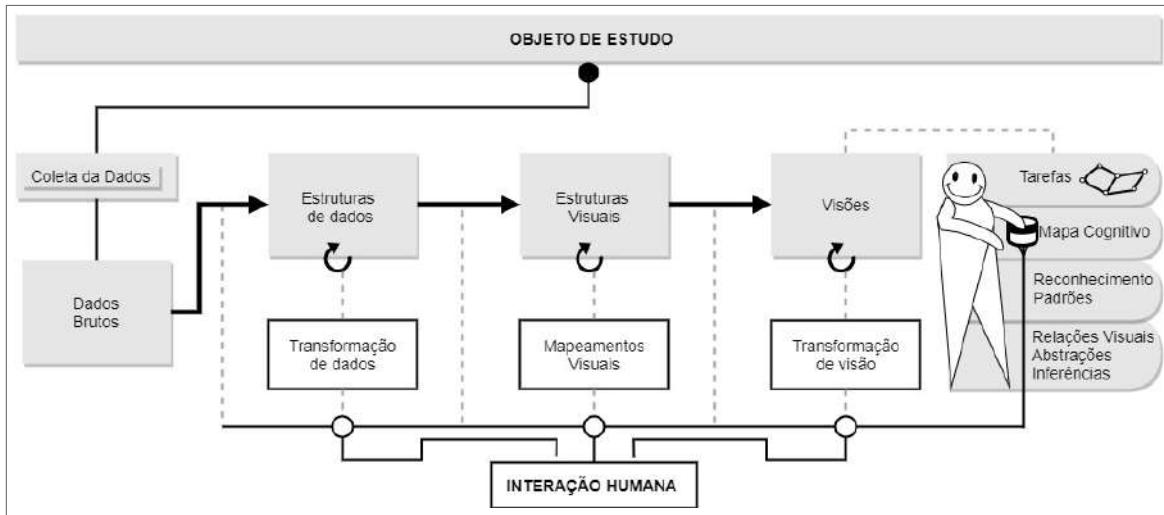
Atualmente é uma área que tem tido uma crescente popularidade ganhando um reforço considerável da tecnologia e de ferramentas que facilitam gerar gráficos, e permitem novas explorações e comunicação de conteúdos. São diversas as possibilidades de criação digitais de visualizações com os bancos de dados online e seus modelos desenvolvidos por comunidades. A utilização dos recursos de software, com bibliotecas como o D3 e Processing, que permitem manipular *scripts* com base em dados e funções matemáticas, que criam e exploram digitalmente formas, cores, posições espaciais e movimentos, para gerar representações gráficas resultando em visualizações personalizáveis e geradas automaticamente.

As visualizações podem ser geradas de acordo com os objetivos do desenvolvimento da pesquisa, seja focado apenas na Representação Visual da Informação, no conteúdo como em mapas Semânticos/Conceituais, Visualização Temporal da Informação, Representação e Geolocalização de Dados, Modelagem de Processo, Visualização de Textos, Visualização Analítica ou Visualização de Redes. Seja qual for destas vertentes, o objetivo é o que deve ser levado em conta. No caso desta pesquisa utilizaremos os campos da Representação Visual da Informação em conjunto com Visualizações analíticas, a primeira tendo em vista experimentar visualizações musicais e a segunda para fins de análises para apresentar resultados comparativos, que demonstrem e comuniquem características de obras musicais assim como suas diferenciações.

Neste caso o uso de técnicas da Visualização de Informação simplifica a compreensão de dados com representações visuais para alcançar resultados de pesquisas, (ALVES, 2015) reforça que as imagens facilitam a comunicação e transpõem a barreira existente entre a comunidade acadêmica e a sociedade. Além de reforçar o propósito de aproximar mais o acesso a informações e buscar maneiras de facilitar a apreensão de conhecimentos ou do acesso a informação.

Na figura 10, o modelo de referência de Card, Mackinlay e Shneiderman (1999) e adaptado pela autora, demonstra o processo de desenvolvimento na área de visualização da informação, e da transformação dos dados em representações visuais.

Figura 10 – Transformação dos Dados em Representações visuais



Fonte: Adaptada pelos autores de: (CARD; MACKINLAY; SHNEIDERMAN, 1999, p.17)

Na figura acima é apresentado o modelo de visualização proposto por Card, Mackinlay e Shneiderman (1999), em que ressalta que os seres humanos são bons ao realizar tarefas e através de mapas cognitivos, conseguem reconhecer padrões, fazer relações visuais e abstrações desde muito tempo utilizando artefatos para compreender, analisar e sobretudo interferir em tudo a sua volta.

Sendo assim, com essas habilidades o processo de mapeamento de dados visuais se dá inicialmente pela definição e escolha do objeto de estudo, que em nosso caso é a Música, pela coleta e tratamento de seus dados brutos, sendo analisados enquanto estruturas de dados e estruturas visuais ou *representações visuais*, são transformadas e mapeadas de modo a serem objetos de comunicação por fim é a visão de todo processo que permite que realizamos como seres humanos interação e compreensão de determinada informação.

2.4 MUSICOLOGIA COMPUTACIONAL

Com o objetivo de permitir que a tecnologia auxilie e preencha lacunas complexas no processo musical, surge a grande área de Musicologia Computacional. Definida como estudo da música por computador, agrupa diversas especialidades como por exemplo a Computação Musical, Processamento de som, Recuperação de informação musical e Teoria musical matemática. Para Santini e Souza (2016) por ser considerada um área multidisciplinar, requer entender as disciplinas envolvidas pela junção dos interesses de pesquisa. O que torna desafiadora a localização de seus conteúdos, sua leitura e estudos por exigir determinados domínios multidisciplinares.

Com isso o caminho encontrado para sua investigação é utilização de métodos da Ciência estatística, Matemática e Teoria Musical, para modelagem e simulação computacional, com exploração de aplicações voltadas para bancos de dados, análise e produção artificial

de música. Áreas estas que englobam a criação de programas de computadores com diversas utilidades para a música, desde a reprodução de arquivos digitais de som e áudio, até o campo de criação, com composições algorítmicas, geração automática, visualização de música e análise musical.

Dante deste cenário de priorização do estudo da Informação Musical encontramos uma única iniciativa que reuniu trabalhos e pesquisadores de Visualização Musical pelo 1º Simpósio de MuVis, realizado recentemente em 2018 na Itália, dentro da Conferência Internacional de Visualização da Informação (IV). (MALANDRINO; PIROZZI; ZACCAGNINO, 2018). Onde apresentaram e discutiram seus trabalhos e resultados para potencializem o processo de comunicar visualmente as informações musicais contribuindo para edificar esta nova área.

Assim, podemos definir a área de MuVis como uma comunidade ainda em desenvolvimento, com integração de áreas diversas que são geralmente muito independentes devido a sua interdisciplinaridade, e consequentemente com diversas aplicabilidades. Por isso de modo geral, seus trabalhos estão presentes isoladamente e até dispersos em diferentes periódicos, das áreas de Computação Gráfica, IHC, MIR e esta última traz contribuições mais específicas para área de Música principalmente pela série de Conferências realizadas pelo ISMIR.

Notamos que apesar das potencialidades dos trabalhos que relacionam a área de Ciência da Informação com a de MIR, atualmente é pouco explorado o processo de comunicar uma informação musical, são escassos trabalhos que realizem essa junção especialmente dando ênfase a análise musical. Por isso, temos como foco a análise musical nesta pesquisa, buscando permitir utilizar a informação musical para materializar seus dados visualmente, possibilitando tratá-los e analisá-los em diferentes perspectivas e variadas representações.

Então, já nas pesquisas exploratórias percebemos os desafios da temática musical inclusive sobre as complexidades em lidar com os dados musicais devido a seu grande volume de informações. Como reforça Futrelle e Downie (2003) na música as camadas de significado como na harmonia, polifonia e timbre são bem difíceis de extrair. A geração de representações mais robustas ainda requerem técnicas sofisticadas de programação e processamento para extraírem desses recursos o material musical.

Por isso, para trabalharmos com a Visualização da informação musical, buscamos ter como base alguns estudos já realizados na área de MIR. Que segundo Santini e Souza (2016), começa a ser consolidada na história desde a década de 90, com o aparecimento representação e recuperação da música e pela primeira vez como objeto de estudos da CI, em um capítulo do ARIST (Annual Review of Information Science and Technology), escrito por Alexander McLane, intitulado “Music as information”. A área de MIR é definida por (FUTRELLE; DOWNIE, 2003, p.121) como uma "área de pesquisa interdisciplinar que surgiu da necessidade de gerenciar coleções crescentes de música em formato digital", e engloba diversas pesquisas de música no aspecto computacional.

É notável que com o desenvolvimento de tecnologias de compressão de arquivos digitais de música compartilháveis através da internet e em seus formatos digitais, a informação musical como o arquivo Musical Instrument Digital Interface (MIDI), que é um formato universal de música que armazenam as partituras e os eventos musicais. E o MP3, aumentando a capacidade de extração de informações musicais destes arquivos e consequentemente de sua aplicabilidade.

Mesmo com esta disponibilidade de arquivos e possibilidades, Futrelle e Downie (2003) atenta para os desafios representacionais nos processos para desenvolver visualizações de informações musicais. Fundamentados nas dificuldades de pesquisadores em relacionar as bases teóricas e práticas de representações já existentes na literatura, como:

1) **Desafio multirepresentacional:** Considerar permanentemente as diferentes formas de representação da música.

2) **Desafio multicultural:** Cada época histórica e cada formação cultural criam modos próprios e singulares de se expressar através da música. A música transcende as fronteiras culturais, temporais e sua ampla variedade de expressões musicais.

3) **Desafio multi-experimental:** Compreender e responder às diferentes formas de interação individual com a música e com os sistemas de MIR constitui o .

4) **Desafio multidisciplinar:** Maximizar os benefícios de ter uma comunidade multidisciplinar de pesquisadores, enquanto minimiza a desvantagem inerente, representa o

Destacamos, os pontos (1) e (4) como mais revelantes desafios a ser explorados nesta pesquisa, especialmente o desafio "multirepresentacional" visto que buscaremos contribuir experimentando diferentes representações da música.

De modo geral, concluímos que são necessários esforços para uma prática comum de pesquisa em relação a MIR para ser aplicada de forma mais fácil a Visualização musical. Articulando e embasamento desta linha de pesquisa para estabelecer princípios metodológicos, unificando métricas de estudos, especialmente para produção de ferramentas que possibilitem facilitar a comunicação e exploração das informações musicais para serem analisadas e estudadas através de tecnologias disponíveis. Assim refletir sobre o desenvolvimento de software nessas áreas também é essencial, por isso na próxima seção, categorizamos aplicações voltadas para visualização computacional das informações musicais.

2.5 VISUALIZAÇÃO COMPUTACIONAL DA MÚSICA

Visualização Musical, remete a uma área que pode ser definida pela sua interdisciplinaridade. Sua abordagem pode ser repleta de viés devido a sua diversidade de aplicabilidade. Aqui trouxemos como campo de exploração a Visualização da Informação Musical, tendo como objetivo comunicar visualmente elementos básicos e estruturantes da Música. Pois percebemos através da revisão de literatura, pouquíssimas pesquisas com debruçamentos mais direcionado ao estudo analítico visual destas informações.

Esta área ainda em amadurecimento, tem registros através de fóruns colaborativos e multidisciplinares em que pesquisadores e profissionais de Música, Ciência da Computação, Arte, Design e Educação apresentam resultados práticos com seus estudos e desenvolvimento de suas visualizações musicais. Documentando, compartilhando e discutindo sobre contribuições ferramentas disponíveis para visualizar música, no desenvolvimento de algoritmos, estudos de caso, métodos e técnicas que estão sendo utilizadas diante de determinados problemas. Seja para aplicação no ensino da música, criação de composição ou performance musical, até mesmo para o público geral como criação de visualizações musicais baseada em emoção, entre outros.

Então consideramos que a MuVis é a área de interseção entre a Música e Visualização de Informação, tendo como objetivo desenvolver estudos aplicados para comunicar informações musicais com auxílio de recursos visuais. São diversas as suas áreas anexas, mas para fundamentar melhor seus conceitos nesta pesquisa com foco na representação visual, trazemos como base a sua classificação segundo pesquisas existentes em MIR. Futrelle e Downie (2003) seleciona diferentes tipos de representação de dados musicais, como descritas na tabela 1 abaixo.

Fonte: Futrelle e Downie (2003)

Representação	Descrição	Pesquisa
Simbólica	Notações (Gráficos, Partituras), Gravações Baseadas em Eventos (MIDI) e Representação híbrida.	Correspondência, Extração de tema / melodia, Separação de voz e Análise musical.
Audio	Gravações, Streaming, Biblioteca de Instrumentos	Spot de Som, Transcrição, Classificação de Timbre/Gênero, Análise Musical, Sistemas de Recomendação
Visual	Partitura	Leitura de documentos - <i>Optical Music Recognition (OMR)</i>
Metadados	Catálogos, Bibliografias e descrições	Biblioteca de Testbeds, Sistemas de Recomendação

Tabela 1 – Representações Musicais em MIR

Levando em consideração estes tipos de representação em que já são categorizadas e definidas representações musicais pelos tipos de pesquisa realizadas em MIR. Realizamos um mapeamento sistemático para classificar os tipos de visualizações musicais de acordo com a tabela de (FUTRELLE; DOWNIE, 2003), trazendo aplicações desenvolvidas e existentes até um momento na área de Visualização Musical. Propomos sua categorização em três grandes subáreas, são elas: (1) Visualização de Metadados Musicais, (2) Visualizações Sonoras e a (3) Visualização Musical Simbólica.

A (1) já é bem consolidada pelo ponto de vista computacional, devido as grandes bases de dados documentais existentes. Já a (2) apesar dos desafios associados ao aspecto sonoro, também já é bem consolidada é onde encontramos mais exemplos artísticos aplicados a performances. A (3) os poucos trabalhos que existem são muito bem explorados, no entanto enquanto campo de pesquisa ainda encontra-se em desenvolvimento. Esta última temos como foco de pesquisa pois há uma necessidade do tratamento e acesso aos grandes dados musicais, e tem um futuro promissor para auxiliar profissionais de música a entender seus ouvintes, realizar seus processos compostionais analiticamente e compreender influências musicais.

2.5.1 Visualização de Metadados Musicais

Metadados são dados que descrevem outros dados de forma inteligível, e são catalogados digitalmente (CAMPOS, 2007). Quando nos referimos aos metadados musicais, estes reúnem diversas informações de uma obra, como o nome do artista, gênero, títulos de músicas, nome do álbum e números das faixas e atualmente tem extrema importância para as plataformas streaming pois carregam um conjunto de volume de dados musicais que podem classificar dados qualitativos de um ouvinte por exemplo, em sistemas de recomendação identificando características e gostos musicais com base em determinadas descrições destes dados musicais.

Por sua vez, a visualização de metadados musicais é uma das áreas bem definidas atualmente no contexto de trabalhos já desenvolvidos, com bibliotecas e banco de dados disponíveis na web que com códigos abertos alimentados e mantidos pela comunidade permitem coleta, armazenamento e acesso a informações musicais. Como o Music Brainz(musicbrainz.org), citado por (MONTEIRO et al., 2009) o qual possui tabelas que contemplam informações sobre obras, autores, títulos de músicas. E são utilizados com o objetivo de registrar e documentar dados brutos como textos, informações bibliográficas de artistas, de um determinado gênero musical ou dados históricos de suas respectivas obras.

De acordo com as pesquisas bibliográficas, notamos que as ferramentas de visualização de informações de metadados musicais, em sua maioria derivam de técnicas de Interação Humano Computador (IHC) e buscam proporcionar aos usuários a utilização e acesso aos dados de maneira interativa, se destacam por suas interfaces gráficas com janelas, botões, menus e ícones. Os quais na maioria das vezes são demonstrados em formatos de infográficos digitais.

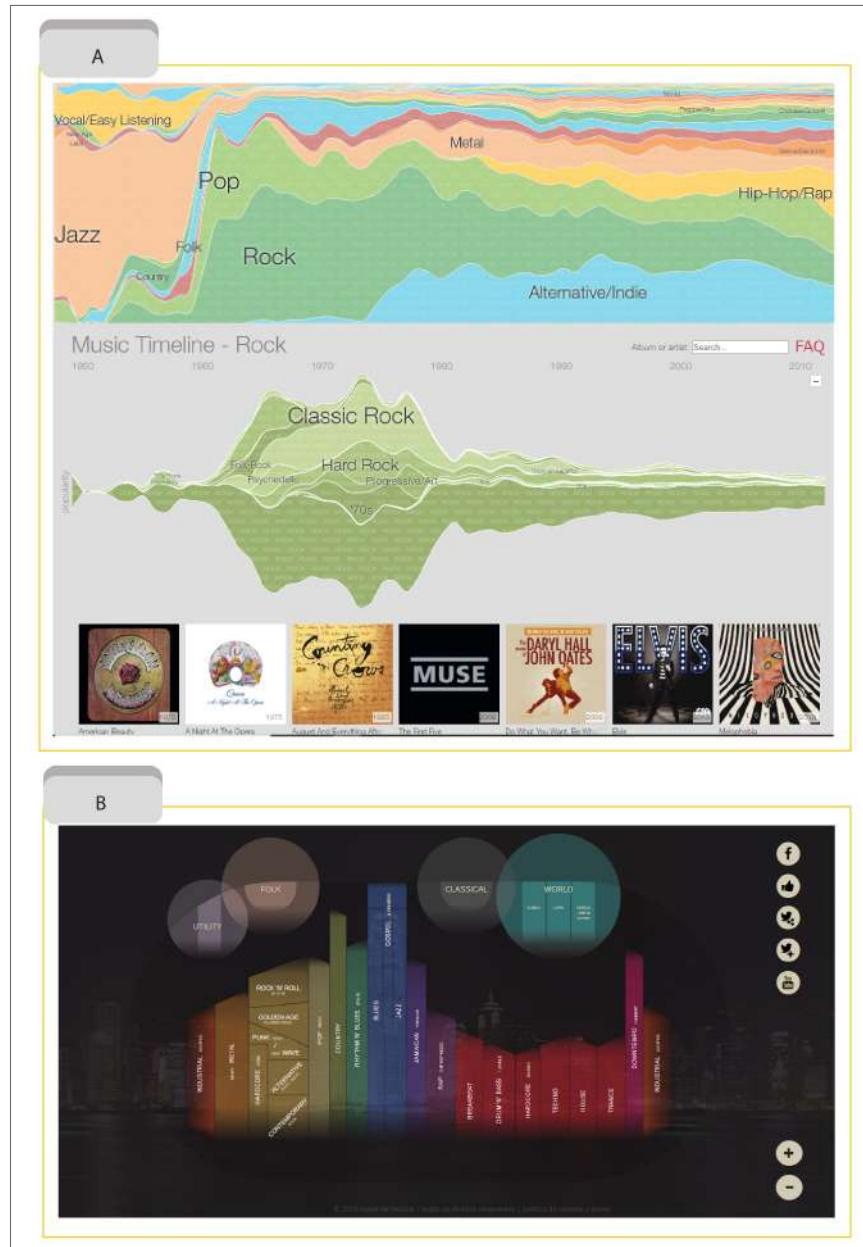
São diversos os exemplos que podemos citar que possuem grandes bases de metadados musicais, e na sua representação visual podem diferir em diversas formas de entregar a informação ao usuário. Como os demonstrados na figura 11, em (A)*Music-timeline* (CICHOWLAS; LAM, 2014), e em (B)*Musicmap* (CRAUWELS, 2016). Ambos são plataformas que permitem o acesso a informações de metadados. Cada uma com suas características

visuais, focados na interação e navegação dos dados de maneira acessível.

Quanto a visualização o "Music Timeline", é representado por uma linha guia, sua visualização desenvolvida pela biblioteca D3 baseada em gráficos de séries temporais. Em que mostra dados sobre os gêneros de música e seus artistas de sucesso com base em dados desde a década de 1950 até 2010, que aumentam e diminuem em relação ao eixo Y, e o tempo de duração de sua popularidade no eixo X, baseada nas estatísticas de álbuns e artistas agregadas do Google Play Music.

Já o "Musicmap", que explica a história da música através de uma visualização genealógica de gêneros musicais, em formato de "carta interativa" que quando clicadas são abertas suas informações. Enquanto ferramenta é útil para uso de fins educacionais ou uma estrutura complementar no campo de metadados musicais e de uma taxonomia automática.

Figura 11 – Plataformas Metadados Musicais



Fonte: (CICHOWLAS; LAM, 2014), (CRAUWELS, 2016)

Há diversos outros, como o (LAST.FM, 2020), da figura 12 que usam sistemas de recomendação para permitir no segmento de interação do usuário o acesso personalizado aos metadados, em que as visualizações podem ser personalizadas e modificadas de acordo com as buscas dos usuários respondendo curiosidades como artistas mais ouvidos da era, características de gêneros musicais, ou com seleção de preferências musicais com base na geração automática de relações e influências, tendo como base grandes conjuntos de dados internos e algoritmos de recomendação.

Figura 12 – Plataforma LASTFM

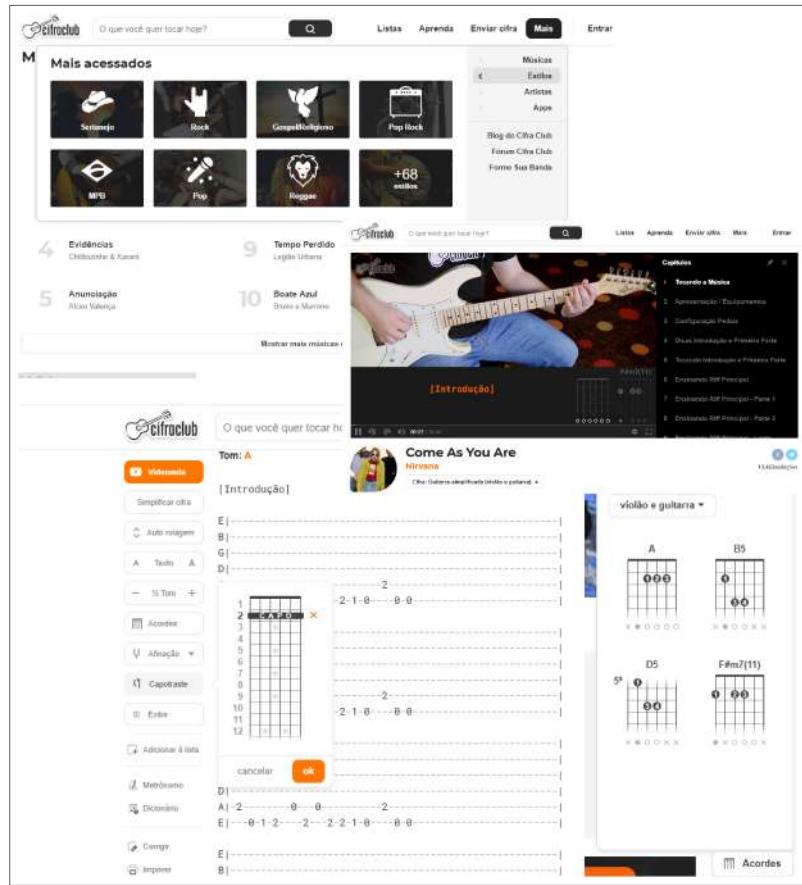


Fonte: (LAST.FM, 2020)

Para educação musical também há sites e plataformas online, que possibilitam aproximar a informação musical do seu usuário, como por exemplo o Cifra Club³ que detém e organiza um determinado conjunto de dados, permitindo acesso a meta-informações: de artistas, músicas mais ouvidas por gêneros musicais, seus arquivos de músicas, descrição de letras com transcrições de cifras, diagramas de acordes e tablaturas virtuais que são tipos de representações musicais, como demonstramos na figura 13.

³ Retirada de: www.cifraclub.com.br Acesso: 06 de abril de 2019

Figura 13 – Plataformas Metadados Musicais



Fonte: Cifra Club³

A cada música selecionada podem ser acompanhados seus acordes em relação aos instrumentos. Tudo isto sendo feito, de maneira que os dados fiquem simplificados e organizados em uma estrutura de plataforma com a interface interativa, Tendo como objetivo auxiliar na aprendizagem musical além de incentivar a troca colaborativa entre os profissionais com a interface complementada por fóruns, video aulas e também permitindo baixar partituras.

2.5.2 Visualização Sonora

As visualizações sonoras, são projeções por recursos de imagens ou propriedades gráficas que geram cenas visuais, combinadas ao áudio digital enquanto representação sonora. O som, tem uma ampla aplicabilidade em áreas artísticas muitas vezes com viés para performance implementando, seja em Óperas, balés, shows de música eletrônica. Com a utilização de instalações sonoras e projeções para gerar efeitos experiências de arte cínética, visual e acústica, como o *Sound-Sights* (LEOPOLD, 2006). Há uma imensidão de projetos avançados na área, pois os visualizadores sonoros como ferramenta, tem um histórico desde a década de 90, em que diversos perfis interdisciplinares, se unem na busca por agrupar aspectos sonoros e visuais, (HUYNH; COMBERG, 2017), seja para propiciar um

diálogo mais próximo da tecnologia com a realidade do artista, para explorar expressividade através de interações e processamento audiovisual em tempo real, *Vimus* (JACOMÉ, 2007).

Assim como, o softwares de carregamento de visualizações dinâmicas como o *Iannix* (SCORDATO, 2017), projeto realizado em homenagem a Iannis Xenakis, compositor, arquiteto, diretor de performance e engenheiro, e que em sua trajetória buscou por estas relações de matemática e música, colaborando inclusive para o desenvolvimento de música computacional.

Figura 14 – *Iannix*



Fonte: Concerto Performance - La Bienalle Di Venezia.⁴

Segundo Scordato (2017) desenvolvedor do projeto, que representa dados sonoros, com parâmetros de ambiente de programação executando-os em tempo real. Tendo uma vertente que funciona com base no estímulo reativo do artista, o qual controla a exploração gráfica pela criatividade e interpretação de composições da sua estrutura musical, sendo detectado por um dispositivo de captura de movimento em que extraí eventos Open Sound Control (OSC), gerando a visualização sonora com ambientes 3D.

Com os experimentos artísticos do *Iannix*⁴ e outros softwares de visualização sonora, compreendemos que são diversas as possibilidades gráficas de representação, pois o sistema permite que o artista explore na sua performance o espaço visual com traçados de segmentos de linha totalmente livres sobre um plano sonoro.

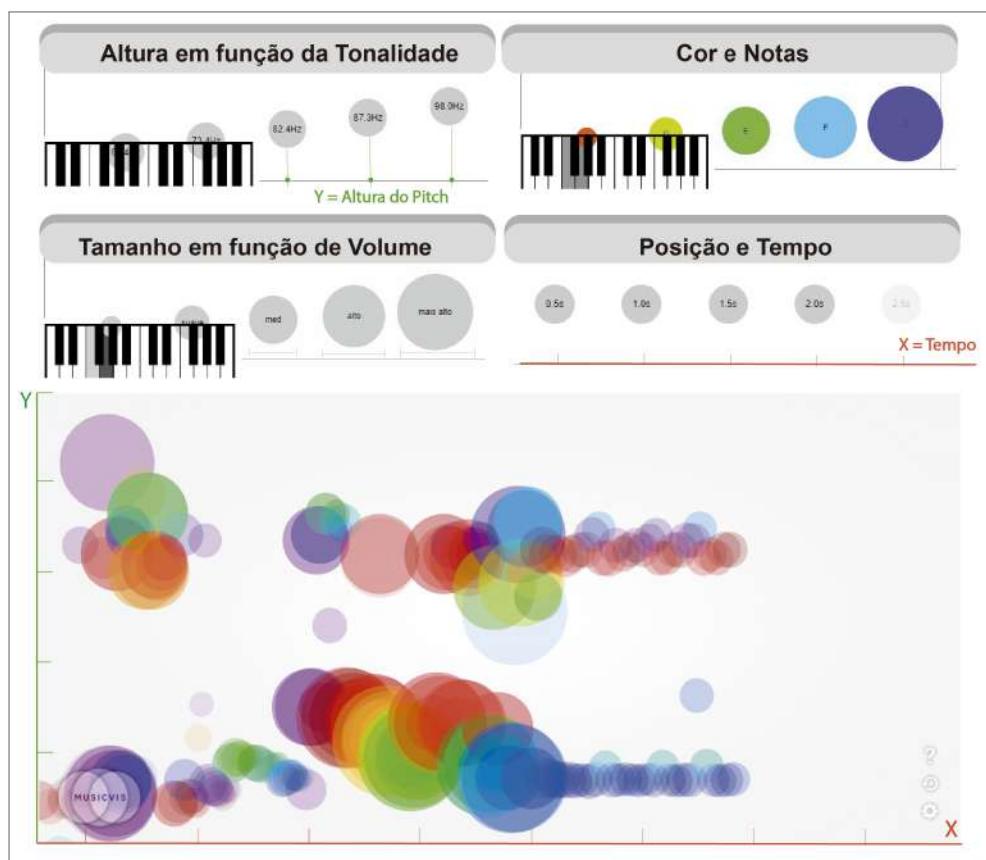
Destacamos também os softwares de gravação de áudio digital, que possuem telas gráficas em formato de notações estilo *Piano Roll*, muito utilizados por profissionais de

⁴ Retirada de: <https://www.iannix.org/en/item/concerto-performance/> Acesso: 10 de maio de 2019

música para produção de arquivos de áudio. Este tipo de visualização segundo Cantareira (2014, p.23) remete ao mais simples e clássico de visualização de uma composição musical, derivada dos antigos rolos de programação que eram lidos automaticamente por pianos. Que prioriza a dinâmica musical, com as variações, atenuações, os instantes entre silêncios e notas musicais em função do tempo. As notas são marcadas num plano 2D, ou seja bidimensional, onde o eixo X(Horizontal) representa instantes de tempo e o eixo Y(Vertical) representa a altura da nota em tons.

Esta mesma representação em piano roll, pode ser amplamente explorada em relação a seu desenvolvimento o *MusicVis* (HUYNH; COMBERG, 2017), da figura 15, traz uma iniciativa de captura de informações musicais em relação ao som. Pela representação animada e de forma dinâmica pela sequência temporal, o qual também é registrado estaticamente gerando ao final uma imagem musical. Como demonstrado, o autor conserva o elemento temporal na horizontal, e as variações das notas de acordo com a informação de áudio por pitch e volume, os quais são valorizadas pelas cores, posição e tamanho do círculo. Todos executados em tempo real, de acordo com os dados do arquivo de áudio digital. Outra opção da aplicação WEB, também permite interações pelo processamento de áudio captados do microfone.

Figura 15 – Representações de Informações musicais MusicVis



Fonte: Adaptado pelos autores de (HUYNH; COMBERG, 2017)

Estudos como este, com enfoque em arquivos de som, tem forte presença na literatura de computação musical, apesar de possuir ainda diversos desafios, como a compressão de dados sonoros em arquivos de áudios. Sendo assim, mais direcionada ao entretenimento, atualmente também são impulsionados pelas amplas possibilidades com as plataformas streaming, por exemplo para geração de visualizações analíticas. Seja para propor experiência a seus usuários com Sistemas de Recomendação, por exemplo o Spotify e suas API's, como o Musescape(WOYTUK; ALEKSIK, 2018) utiliza geração de desenhos com descrição de características com base na atividade recente do ouvinte, determinando cores e variação de uma paisagem, relacionadas as notas e a energia das músicas mais ouvidas. Na tentativa de parametrizar características subjetivas, como emoções, por estilos musicais se elas são alegres ou tristes, energéticas ou calmas. Por isso, as aplicações desta área, para Huynh e Comberg (2017) "estão mais focados em atrair a atenção do público, criando uma conversa entre o visual e o som", tendo como consequência diferentes interpretações do conteúdo musical.

2.5.3 Visualização Musical Simbólica

Nesta classificação, definimos que a representação simbólica, tem como propósito significar o objeto representado, ou seja, permitir que as visualizações comuniquem os elementos musicais através de meios visuais para auxiliar os músicos na execução, as partituras e cifras são visualizações musicais simbólicas.

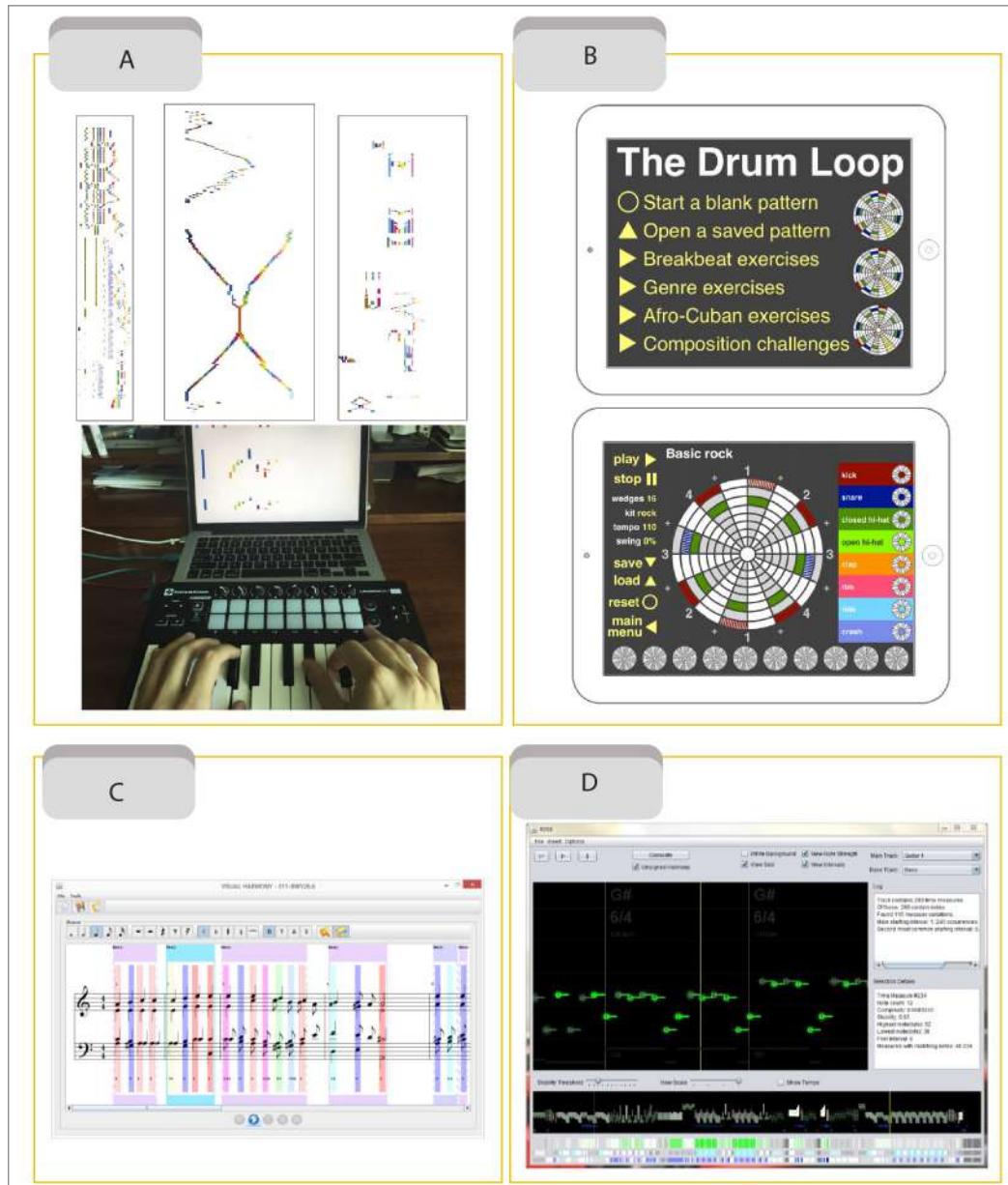
Mas enfatizamos que computacionalmente esta categoria inclui a abrangência do estudo científico dos elementos musicais, através das potencialidades proporcionadas pela tecnologia computacional e de suas diversas funcionalidades seja na interação e manipulação dos processos compostionais e estruturais da música, na compreensão e análise dos dados instrumentais até mesmo na caracterização estética de obras musicais. Elençamos aqui os três principais grupos que trabalham com esse tipo de visualização simbólica são: as Visualizações Musicais Interativas, Visualizações animadas e a Visualização de Elementos Estruturais da Música.

A começar pelas Visualizações musicais interativas, estas permitem profissionais interagirem com interfaces que geram os dados musicais a partir de suas ações motoras e movimentos musicais a cada performance e execuções em tempo real. Autores como, Silva (2019a), defendem que é possível tornar a música mais acessível com sistemas interativos e animações que explorem o seu dinamismo, e consequentemente seu aspecto temporal. Possibilitando com a integração da representação visual e ajudando a compreensão de conceitos básicos e fundamentais de música como ferramenta ensino musical ou prática instrumental.

Trazemos no grupo de Visualizações Musicais Interativas as ferramentas que permitem diversas experimentações táteis implicando na troca de informação entre o sistema e seu usuário. Tendo como *input* as informações instrumentais, em que o músico conecta-se

aos recursos computacionais sejam gravações baseadas em eventos de arquivos de música MIDI e suas sequências de dados gerando visualizações para auxiliar no acompanhamento. Estas são geralmente direcionadas para explorar o processo composicional, de ensino, na produção e edição musical. Mas tem como foco principal a interação do usuário com os dados musicais, seja para aprendizagem ou para auxiliar músicos em performances durante shows, como os exemplos na figura 16: (A) Da Capo , (B)The drum loop, (C) Visual Harmony, (D) MoshViz.

Figura 16 – Visualizações Musicais interativas



Fonte: (A)Silva (2019a), (B)Hein (2013), (C)Malandrino, Pirozzi e Zaccagnino (2018) e (D)Cantareira, Nonato e Paulovich (2016)

Em (A) Da Capo (SILVA, 2019a), descreve que este é um sistema de notação gráfica que traduz notas musicais para cores, duração e dinâmica de notas para formas. Transpondo

e tendo como base a obras dos autores Celso Wilmer, Laia Clos e Wassily Kandinsky, que buscaram informar didaticamente e visualmente conceitos musicais. Computacionalmente o sistema utiliza *inputs* da instrumentalização de um teclado MIDI e desenvolve uma visualização musical dinâmica plotada na tela em tempo real, com interações e variações capturadas pela entrada dos dados musicais. O projeto visa facilitar aprendizagem de música e o entendimento de conceitos musicais através das representações dinâmicas, além de permitir criações experimentais através do que for tocado.

Há outras ferramentas que focam no ensino da música, no entanto para o estudo do ritmo destacamos a ferramenta (B) The Drum Loop (HEIN, 2013) traz o elemento acompanhamento que é destinado ao ensino de iniciantes sem experiência no instrumento da bateria, ou experiência musical de qualquer tipo, permitindo-os programar batidas em uma variedade de estilos pop, dança e afro-cubano reconhecendo seus padrões rítmicos e visuais, associando sons a imagens e cores.

Já para o estudo de harmonia encontramos principalmente exemplos como em (C) VisualHarmony(MALANDRINO; PIROZZI; ZACCAGNINO, 2018), no estilo de partituras interativas um sistema que é voltado para Composição Musical, permitindo a criação e edição. Ele também possui uma base de dados com partituras exemplares, e enquanto ferramenta continua em desenvolvimento e otimização por com o estudo de visualizações aplicadas sobre os fragmentos do coral de Bach, buscando evitar erros específicos pois o algoritmo segue as regras da teoria da música clássica. Mas de modo geral tem como objetivo, ajudar as pessoas em compor peças musicais de uma forma eficiente e rápida, com a complementação de cores na partitura variações de estruturas harmônicas, e possibilitando o acesso a informações aumentadas da música.

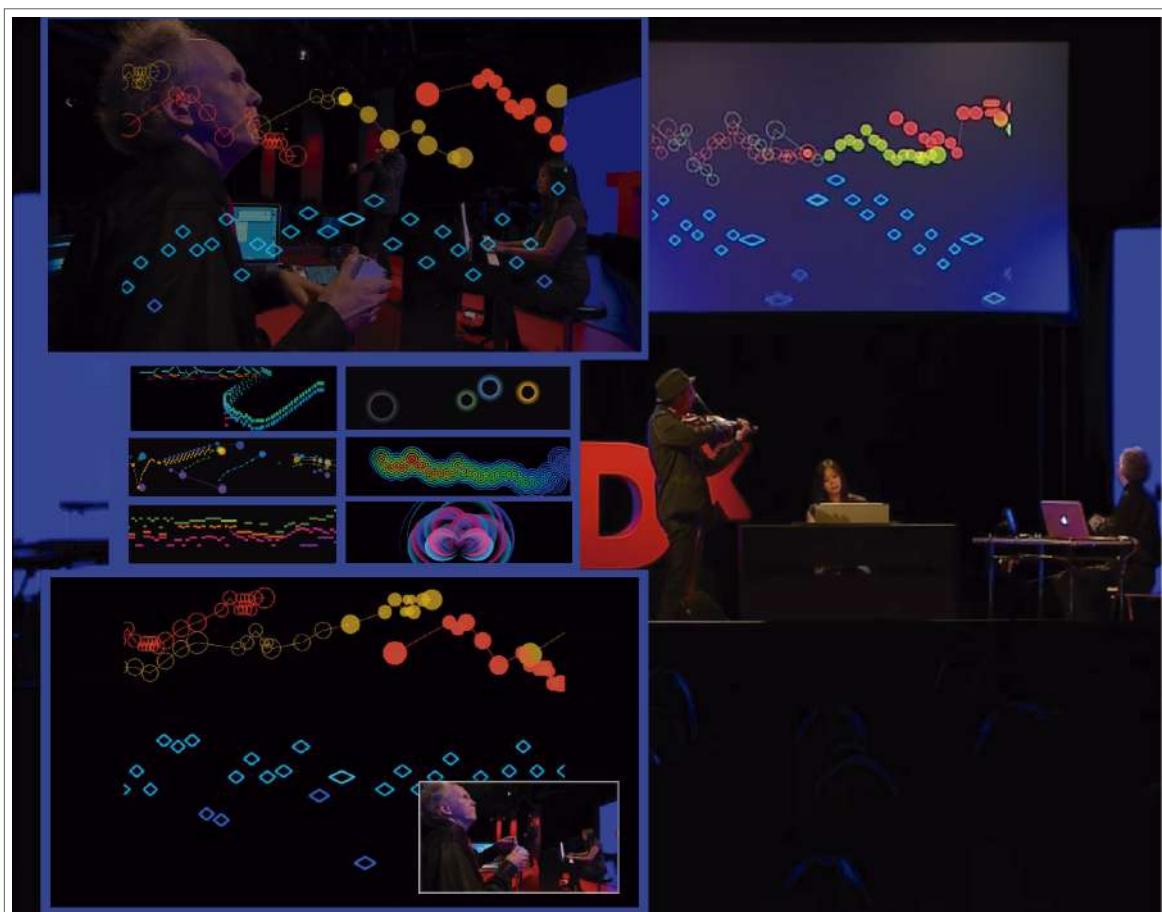
Este software, foi um dos poucos que apresentara interface com o setup no estilo semelhante a partituras e com proximidade com a linguagem do músico, pois segundo os autores Malandrino, Pirozzi e Zaccagnino (2018) o processo de implementação e avaliação foi totalmente realizado com professores e especialistas, a fim de coletar requisitos utilizados nos recursos gráficos necessários para facilitar o estudo das regras usadas na música clássica.

Já em (D) o MoshiViz (CANTAREIRA; NONATO; PAULOVICH, 2016), é mais um dos sistemas interativos que representa a música e seus acordes com base na leitura de seus arquivos MIDI, permitindo que os usuários selezionem trechos específicos para entender estrutura musical, bem como seus padrões harmônicos e melódicos. Com base num modelo de alto nível criado com os dados musicais destacando aspectos de interesse, permitindo uma interpretação detalhada e visão geral da execução musical.

Quando trata-se de auxiliar no processo de acompanhamento musical, o subgrupo de Visualizações Animadas, mostram-se como um bom exemplo de estudos potenciais, no entanto é um campo pouco explorado na literatura. Malinowski (2012) explora com o software MAMPlayer(Music Animation Machine MIDI Player), na figura 17 geração de

visualizações animadas com diferentes tipos de representação no estilo de piano roll usando formas, cores e tamanhos a cada evento musical. No entanto o autor relata os desafios de desenvolver o projeto relacionado a integração do aspecto sonoro, pois a base de desenvolvimento extrai dados MIDI, ou seja mensagens que não trasminem informação sonora, então como o foco do projeto é sincronizar suas animações com performances em tempo real é necessário que o autor de maneira independente complemente manualmente a sincronização do arquivo de áudio, pré-formatando a visualização através de editores de vídeo. Tendo como foco auxiliar o espectador com as visualizações nos momentos instantâneos do acompanhamento musical, além de disponibilizar aos músicos formas diferentes de demonstrarem ouvir seus próprios arquivos e criações musicais MIDI com as projeções visuais.

Figura 17 – Animações MAMPLayer



Fonte: (MALINOWSKI, 2012)

Os desafios deste campo para músicos está no processo de desenvolvimento desse tipo de visualização, que ainda não é completamente automatizado. Sendo necessário realizar processos manuais como por exemplo sincronizações de vídeo, onde o arquivo sonoro é adicionado a animação digital e suas respectivas projeções. Com auxílio de softwares gráficos alternativos como os de edição de vídeo, o autor neste caso utiliza o Adobe

Premiere, para executar a renderização final dos vídeos. Mas também há relatos em fóruns através de discussões, sobre a necessidade de desenvolvimentos de ferramentas acessíveis para a produção automática de visualizações.

O segundo grupo das Visualizações de Elementos estruturais da música, apesar de pouco explorado computacionalmente é composto por sistemas e aplicações que geram visualizações direcionadas para Análise musical de obras e gêneros musicais. Tendo como base os conceitos de teoria e seus elementos básicos - a melodia, Harmonia e o ritmo-, e sua representação geralmente é informando através modelos de gráficos.

Diante de todos este contexto desse processo de categorização, percebemos que as propriedades visuais podem ser variadas conforme a exploração e o objetivo de escolha de representar visualmente a informação musical. Assim, precisamos conhecer as características das representações visuais que são categorizados por (FREITAS et al., 2001) segundo o ponto de vista de Visualização de informação como descrito na tabela 2 eles podem ser:

Fonte: (FREITAS et al., 2001)

Classe	Tipo	Utilização
Gráficos 2D, 3D	Pontos, Circulares, Linhas,Barras e Superfícies (para 3D).	Representação de distribuição dos elementos no espaço domínio, representação da correlação entre atributos.
Ícones, glifos e Objetos geométricos	Elementos geométricos 2D ou 3D diversos	Representação de entidades num contexto, representação de grupos atributos de diversos tipos.
Mapas	de pseudo-cores de linhas de superfícies de ícones e símbolos diversos	Representação de campos escalares ou de categorias. Representação de linhas de contorno, de regiões, isovalores. Idem, no espaço 3D Representação de grupos de atributos (categoriais, escalares, vetoriais, tensoriais).
Digramas	Nodos e arestas	Representação de relacionamentos diversos: É- um, é-parte-de, Comunicação, Sequência, Referência, etc.

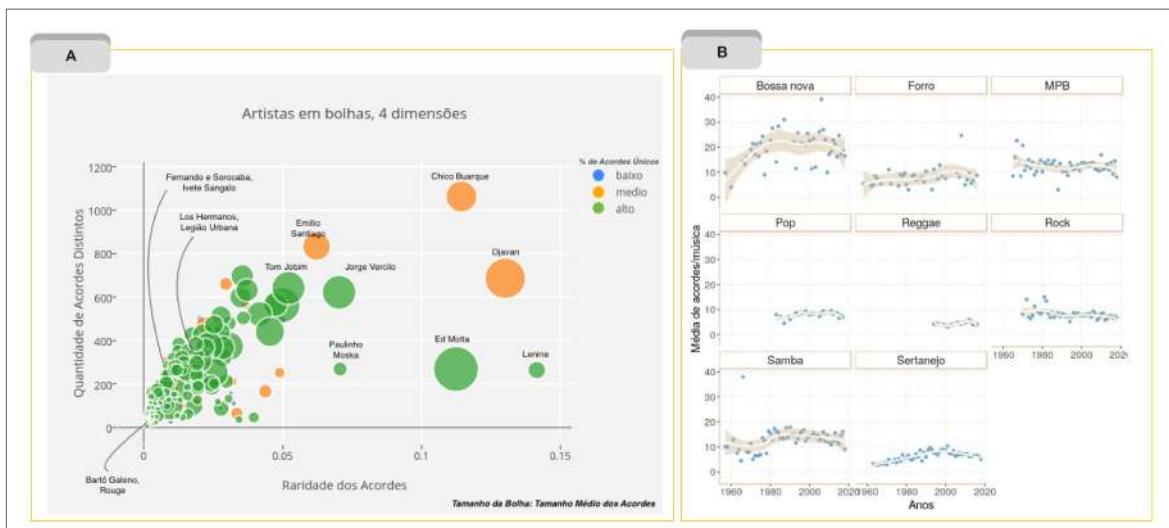
Tabela 2 – Representações Visuais

Sendo assim encontramos exemplares de bases de dados e sistemas geradores de gráficos computacionais na área musical direcionados a categoria de gráficos com os seguintes modelos: gráfico de dispersão, gráfico de barras 2D e 3D, e o gráfico polar.

Como os trabalhos com gráficos de dispersão, na figura 18 temos em (A) Análise de Música Brasileira realizada por Sales (2017) que traz em seu gráfico *Bubble Chart* a demonstração da variação de utilização de acordes por músicos brasileiros. E observa como os artistas se comportam em relação à quantidade de acordes distintos em suas obras armazenando tais dados em planilhas e a posterior realizando análises descritivas e discursivas em seu blog.

Em (B) Chorrrds(WUNDERVALD, 2018, p.27), demonstra a quantidade média de acordes distintos nas músicas em cada ano de 1960-2020, com separação por gêneros musicais. Reconhecendo que mais tradicionalmente brasileiros, como o samba, MPB e bossa nova, têm uma quantidade média de acordes distintos por música maior do que os demais. Este é um pacote R(línguagem de programação), base de dados que utiliza raspagem de dados do site Cifraclub, e disponibiliza online diversas informações musicais. O pacote automatiza a coleta de dados harmônicos e organiza acordes de obras músicos brasileiros.

Figura 18 – Gráficos de Dispersão



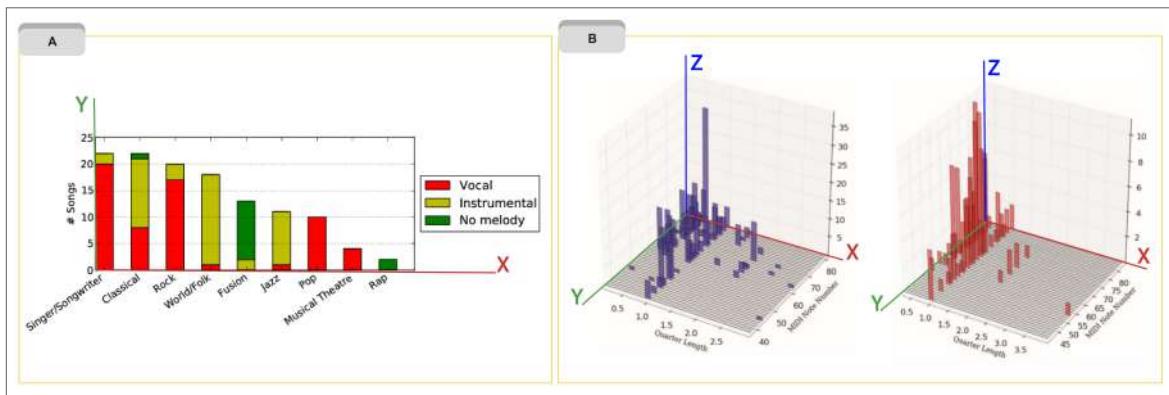
Fonte: (A) (SALES, 2017), (B) (WUNDERVALD, 2018)

Logo também identificamos que há uma utilização recorrente do gráfico de barras nos sistemas de análise musical comparativas, tendo como objetivo principal auxiliar a visualização de tendências difíceis de discernir na música.

Seja em seu formato gráfico de barras 2D, ou seja sua representação é bidimensional como mostra a figura 19, no gráfico (A) com o "MedleyDB", conjunto de dados de gravações multipista, foi criado principalmente para apoiar a pesquisa sobre extração de melodia, abordando importantes eventos das coleções existentes. Analisando os gêneros, baseados em nove rótulos genéricos. Percebemos que alguns gêneros como Singer/Song-

writer, Rock e Pop são fortemente dominados por músicas vocais, enquanto outros como Jazz e World/Folk, são principalmente instrumentais. Observando que o Rap e a maioria das músicas do Fusion não possuem anotações de melodia. Concluindo que as músicas contém vários gêneros musicais e possuem uma divisão quase uniforme entre músicas vocais e instrumentais. (BITTNER et al., 2014)

Figura 19 – Gráficos de Barras



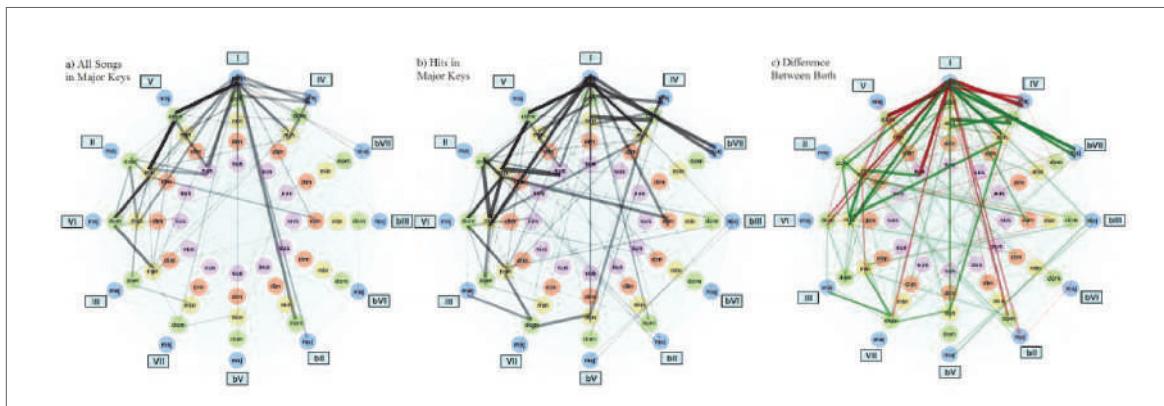
Fonte: Adaptado pelos autores de (A) (BITTNER et al., 2014)(B) (CUTHBERT; ARIZA, 2010)

Além do formato gráfico de barras 3D, onde sua representação é tridimensional isométrica como em (B) Análise musical comparativa de Mozart e Chopin, com a utilização do "Music21" um kit de ferramenta desenvolvido pelo MIT para musicologia computacional, onde os autores manipularam as informações musicais assistidos por recursos de software, para demonstrar as diferenças nas distribuições dos tons dos músicos Mozart, em azul, e Chopin em vermelho, em relação as notas utilizadas nos trechos de suas peças. Analisados pelos dois gráficos contidos em (B) onde as informações musicais estão situadas no sistema de coordenadas com três eixos (X, Y, Z) em uma visualização isométrica, e seus respectivos fatores são as semínimas(x), altura e duração de notas, dados referentes ao arquivo da música MIDI. Segundo Cuthbert e Ariza (2010) com as visualizações é possível perceber que Mozart, segue uma distribuição do tipo curva de sino, com poucas notas altas, poucas notas baixas e muitas notas no meio da área espacial determinada. Já Chopin, salta por todo o piano. Diante da percepção dessas diferenças, os autores relatam que não há nenhuma conexão entre duração na imagem e sugerem que vale a pena prosseguir com essa linha de investigação de utilizar a musicologia computacional para responder perguntas de conceitos complexos.

Destacamos que o Music21 exige uma curva de aprendizagem computacional, para lidar com dados musicais com a linguagem de programação interpretada e orientada a objetos *Python*. Além de que em relação ao conteúdo musical com o mapeamento dos sistemas de análise existentes os desenvolvidos em sua maioria estão voltados para análise de Harmonia e seus acordes.

Outro modelo exemplar, mas pouco utilizado é o gráfico polar, apresentado como uma ótima alternativa de visualização cílica, definido por Silva e Rocha (2003) como uma representação baseada em dois pontos fundamentais a serem explicitados: a separação dos vértices em anéis e a distorção de arestas. Como é o caso do "Harmin" realizado por (CABRAL; WILLEY, 2007) como demonstra a figura 20, com ele é possível realizar análises de progressões harmônicas da obra de Antônio Carlos Jobim, com base num gráfico polar, semelhante ao *Chord Diagram* mas que faz uma conexão relacional dentro dos dados gerando uma visualização única. Os pequenos círculos representam os acordes, e as linhas conectando-os representam as transições, fazendo referência ao círculo das quintas, sua orientação é cílica semelhante a ponteiros do relógio. Segundo o autor a qualidade do acorde varia de acordo com a sua distância a partir do centro, descritos por suas cores diferentes, major = azul, verde = dominante, menor = amarelo, diminuída = salmão, suspenso = roxo). A espessura e transparência das linhas indicam a frequência em que ocorreu cada transição de acorde.

Figura 20 – Harmin: Análise de Progressões Harmônicas



Fonte: (CABRAL; WILLEY, 2007)

Com base na visualização, o autor consegue analisar em seu estudo de caso as músicas em uma perspectiva analítica trazendo pontos interessantes musicalmente e explicáveis visualmente, seja através dos caminhos harmônicos em relação a quantificação da distribuição dos acordes e da variedade de progressões na obra do artista. E também trazendo reflexões identificadas através de comparações de visualizações, como características em determinada fase artística do compositor Tom Jobim, e a utilização de certos acordes em situações específicas.

2.5.4 Considerações Gerais

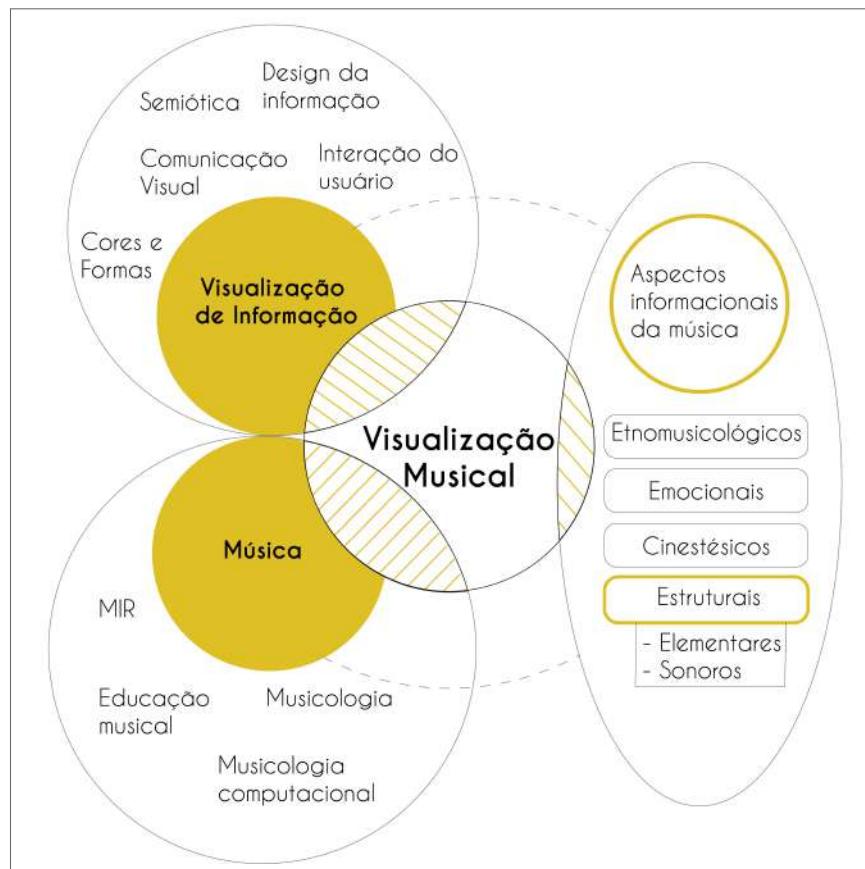
Constatamos com todo este mapeamento sistemático, que a informação musical pode estar aplicada a diversos contextos e por isso foi necessário categorizá-la para entender suas funcionalidades, seus inputs para desenvolver direcionamentos em como criar uma

visualização musical. Sendo assim precisamos primeiramente considerar seus aspectos informacionais e principalmente o objetivo da visualização, sua utilidade e aplicabilidade, para posteriormente experimentar seus modelos representacionais.

Esta etapa inicial só reforça o quanto é primordial envolver os usuários no processo de identificação de problemáticas pois é partir desse processo que surgem desafios de pesquisa, neste caso de uma área tão aplicada que é música. Além de que conseguimos determinar a utilização da tecnologia como meio de apoio para facilitar a solução de problemas complexos, identificar o que pode ser feito para melhorar e assim propor criações de ferramentas úteis acompanhada do processo criativo de inovação.

Enfatizamos também que há uma carência de estudo na vertente de Visualização de Informação Musical, e focaremos nela para investigação desta pesquisa. A fundamentamos neste capítulo pela interseção de áreas anexas como demonstrado na figura 21 abaixo:

Figura 21 – Diagrama Visualização Musical



Fonte: Os autores

E concluímos que há muito ainda a explorar e necessita de estudos principalmente nos quesitos: usabilidade de sistemas musicais, qualidade das escolhas gráficas para possibilitar satisfação dos usuários em relação a comunicação e utilidade da ferramenta, unificação de métodos, categorização de ferramentas e até mesmo para incentivar o processo de inovação na área de música. Como vimos são diversas suas aplicações e as possibilidades

de integrar tecnologias no contexto musical, principalmente como meio para profissionais da área facilitar e aprimorar processos de aprendizagem, composição musical, auxiliar performances e tornar mais múltiplo o acesso a informação musical com a comunicação visual. Na próxima seção partimos para metodologia do estudo de caso proposto nesta pesquisa.

3 METODOLOGIA

Nesse capítulo será descrito, a metodologia para desenvolvimento desta pesquisa, estruturada com base na abordagem de Design Thinking (DT). Fundamentalmente este é um termo com explorações recentes nas propostas de inovação e tecnologia, focadas no usuário com seus fundamentos expandidos pelo IDEO (BROWN, 2018).

Mas é uma estrutura já bem instaurada na história do Design enquanto processo, como maneira de pensar e abordar os problemas em busca de soluções, orientado pela junção de métodos e estudos experenciais. Assim o "Design Thinking" em suas traduções literais, conceitua-se do *Design*, projetar, planejar ou desenhar e somado ao *thinking* no sentido de pensar o projeto. E como Coutinho, Gomes e Jose (2016) complementam "é uma abordagem focada no ser humano, a qual acelera a inovação e soluciona problemas complexos", tendo como objetivo mapear a experiência e visão de mundo das pessoas para obter um cenário mais amplo e completo do problema, para transformar o processo de projetual e gerar resultados.

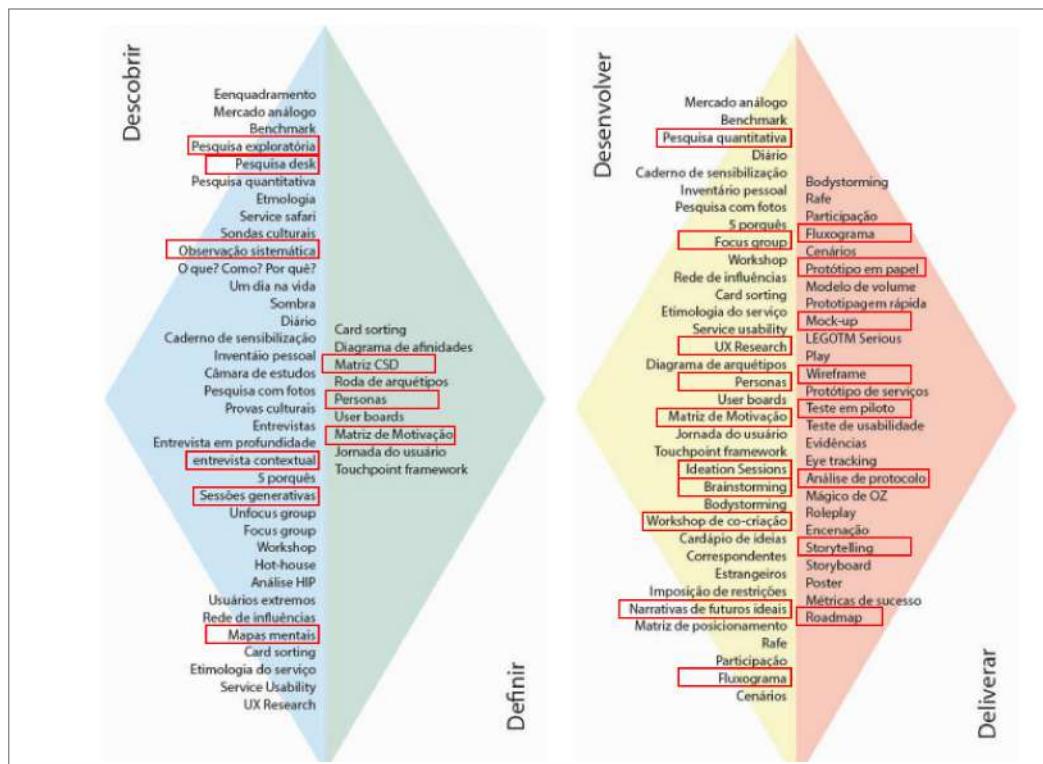
Assim nesta pesquisa, aplica-se a abordagem DT, como processo para desenvolvimento e busca por respostas do questionamento de pesquisa e sobre sua hipótese em relação a importância da visualização computacional para comunicar a informação musical. O objetivo ao utilizá-la, é explorar o pensamento criativo em relação a percepção musical com um design centrado no usuário. Ou seja, em colaboração com especialistas da área para esclarecimento de conceitos complexos do objeto desta pesquisa, a Música, coletando suas diferentes percepções com imersão na problemática norteadora. A autora, como moderadora da pesquisa tem como propósito coletar, observar e permitir que em todo processo experimental, tenha-se amplitude no entendimento da problemática e também na identificação das fraquezas e flexibilizações inerentes ao uso da abordagem.

Para resolver problemas complexos o DT, sugere fundamentalmente a exploração do problema pela imersão, ideação e implementação. Que segundo OLIVEIRA, NAKANO e JORENTE (2018) abrange entender e auxiliar as pessoas a articularem suas necessidades latentes, utilizando a criatividade de ideias potenciais para gerar soluções implementáveis com características pontuais em busca de alcançar a inovação. Complementa-se pela utilização da metodologia do *Visual thinking*, extremamente importante no processamento do pensamento visual, destacada por Costa (2015, p.295) como a "capacidade de estimular ideias e soluções criativas para um problema através de formas gráficas, que de outra forma teriam uma grande probabilidade de ficarem invisíveis aos nossos olhos". Ou seja, trazendo o *feedback visual*, demonstrados através de formas gráficas e pictóricas, criando-se possibilidades de comunicar informações.

Para isto é necessário a aplicação de métodos mistos, com coleta de conjunto de dados qualitativos e quantitativos, para posterior análise e integração à pesquisa. Assim, o DT

também pode englobar uma série de ferramentas diferentes que podem ser utilizadas se adequando a projeção de determinada solução. Gaebler (2015) traz em síntese na figura 22 as ferramentas mais utilizadas nesse processo projetual, para estimular ideias e soluções criativas.

Figura 22 – Ferramentas Design Thinking



Fonte: Adaptado pelos autores (GAEBLER, 2015)

Foram utilizadas no decorrer desta pesquisa, os seguintes métodos são eles: Pesquisa exploratória, pesquisa desk, observação sistemática, seções generativas, entrevistas contextuais, mapas mentais, matriz CSD, personas, matriz de motivação, grupos focais, pesquisa quantitativa, UX research, sessões de ideações, Brainstorming, Workshop de co-criação, narrativas de futuros ideais, fluxogramas, protótipo em papel, mock-up, wireframe, teste em piloto, análise de protocolo, storytelling e Roadmap. Explicaremos melhor cada uma delas e também com sua utilização na prática do processo e por demanda dependendo de cada etapa.

Os dados qualitativos, aqui serão documentados através de descrições de narrativas ideais, também chamados de *storytellings*, os quais possuem trechos de entrevistas realizadas com grupos focais, frases e opiniões mais relevantes anotadas durante o processo de coleta segundo o roteiro do protocolo. Trazendo a participação opinativa do entrevistado, com o objetivo de incluir uma contextualização como amostras dos ciclos de validações. Somado ao conjunto de dados quantitativos, que estão relacionados às análises de informação dos densos arquivos musicais da base de dados que será gerada através da prototipação

gráfica com recursos de software.

Para buscar comunicar informações musicais complexas por meio de visualizações, criamos um protocolo experimental com base nas etapas do DT, descritas na figura 23 abaixo. Sabendo da flexibilidade da abordagem, definimos desenvolvê-la em um processo cíclico, simplificado e estruturado em quatro etapas principais: Problematização, Ideação, Prototipação e Avaliação, onde o processo experimental é centralizado no usuário que é também colaborador e protagonista na coleta de dados direcionada, pela necessidade de comunicação e troca desta área multidisciplinar.

Figura 23 – Protocolo Experimental



A fase de exploração, aqui chamada de *Problematizar* é todo o processo de imersão da problemática, a qual já realizamos a revisão de literatura com a escrita dos capítulos anteriores, coleta dos trabalhos já realizados na área complementado pela seleção de dados e que são sempre discussões relevantes.

A ideação, onde deve-se gerar o máximo de ideias possíveis para estudo, realizando a coleta com os participantes em um Workshop de Co-criação. Definido por Vianna et al. (2012) como uma reunião colaborativa organizada com objetivo de executar uma de-

terminada série de atividades, visando estimular a criatividade e a colaboração entre os envolvidos e o projeto em questão. Em nosso caso, buscando comunicar e explicar informações na geração de esboços das visualizações musicais, realizadas geralmente, com o usuário final da solução desenvolvida, para validar as ideias geradas, afunilar a tomada de decisão além de servir para documentar os resultados parciais do projeto.

A etapa de Prototipação, onde seleciona-se as visualizações viáveis. E tem como objetivo automatizar processos e implementar as ideias, auxiliando na verificação e viabilidade dos volumes de dados musicais com testes práticos sobre determinada criação de visualização. Para (OLIVEIRA; NAKANO; JORENTE, 2018) esta etapa traz "uma maneira rápida e efetiva de tornar as ideias tangíveis, de maneira a aprender com a construção do objeto". Na música, o processo de prototipagem envolve a exploração de ferramentas e métodos para transposição da informação musical em visualização, analisar dados, e nosso objetivo principal gerar visualizações digitais com base em conjuntos de dados musicais.

Tudo isto em um processo cíclico de constantes coleta de feedbacks, enfatizando também o que definimos como a etapa de Avaliar, onde trazemos otimizações com base em testes de validações, análises gráficas e musicais para conceber um projeto que seja alinhado e eficiente na questão de transmitir a temática abordada para o usuário final.

3.1 PESQUISAS PRELIMINARES

Como já descritos na revisão de literatura, o processo de contextualização da problemática desta pesquisa estão relacionados aos desafios de comunicar visualmente informações musicais pelo seu aspecto representacional. Com as pesquisas preliminares, buscamos complementar esse processo de investigação utilizando de coleta de dados primários baseados em contextos reais, para moldar o problema de pesquisa deste objeto de estudo, a Música.

Neste momento iniciamos a imersão da problemática, com a realização da Pesquisa Desk, que segundo (VIANNA et al., 2012) é o método que permite o alinhamento e a definição do escopo da pesquisa por meio do reconhecimento de valores e do levantamento de interesses. Tendo como base a revisão de literatura somados a pesquisas exploratórias e buscas na *Web* direcionados a área, já realizado no capítulo anterior mas incluindo discussões da temática em contextos reais, para entender a temática por pessoas da área em fóruns e levantando discussões através de coleta com entrevistas conversando com pessoas da área de música.

Anotamos questionamentos de cenários problematizadores no contexto da área de música, estes são exemplos de perguntas que surgiram quando buscamos saber o que as pessoas gostariam de visualizar a respeito da música:

- (1)Como utilizar a estrutura da música (Introdução, verso A, verso B, refrão, etc) de forma que se possa ensaiar em grupo?

- (2) Como permitir que pessoas compreendam conceitos musicais complexos por meio de visualizações?
- (3) Quais as influências das heranças de cada estilo musical, como representá-los visualmente?
- (4) O que há de valioso numa música ou estilo específico, que possam ser visualizados e assim compreendidos com mais facilidade? (Ex: música brasileira)
- (5) Quais aspectos visuais podem ser complementares no ensino de algum conteúdo de música?

Para ampliar a discussão também disponibilizamos um documento online via *link* de compartilhamento, com a ferramenta do Google Docs, tendo como objetivo buscar problemáticas gerais da área de música relacionados a estes eixos dos questionamentos já levantados. Enviamos tal documento a membros do Mustic - Grupo de Pesquisa de Música e Tecnologia do Centro de Informática da UFPE, e com as rede de compartilhamentos e colaboração as pessoas preencheram sugerindo suas inquietações e problemáticas. O documento contém um modelo de matriz de motivação, onde solicitamos que os colaboradores citassem cenários problemáticos na área de música, contextualizando e descrevendo sua relevância como demonstra a figura 24.

Figura 24 – Matriz de Motivações

Problema	Descrição	Relevância
Ex: Compreensão da Música Popular Brasileira	Tendo em vista, a potencialidade da MPB e sua complexidade musical, mapear seus elementos musicais e transformá-los em visualizações atrativas seria algo muito interessante.	Valorização da música brasileira.
Aprendizagem de leitura de partitura para leigos	Um programa que recebesse como entrada uma partitura e de alguma forma "animasse" ela para que um leigo pudesse entendê-la e tocar a música	Pessoas que aprendem a tocar instrumentos por conta própria desanimam em continuar estudando quando possuem dificuldade com a parte teórica (a leitura de partituras não é algo naturalmente divertido)
Compreensão das técnicas estendidas	Programas que emitam ruídos e simulem graficamente	Exploração de ruídos urbanos durante as aulas
Como visualizar a genialidade?	Como enxergar as coisas que fazem com que alguém considere determinada obra, ou o conjunto da obra de alguém, genial? Genial sobre que aspectos (harmonia, letra, ritmo, etc)? O que é valorizado (a sofisticação, a complexidade, a "inovação")?	A música é um dos grandes patrimônios nacionais. E há muita dificuldade em se entender o valor de coisas sutis, como caminhos harmônicos inusitados, ritmos complexos e com microvariações, letras rebuscadas, etc. Visualização pode tornar isso compreensível pelo grande público, e assim contribuir para valorizar a música brasileira em todo o mundo

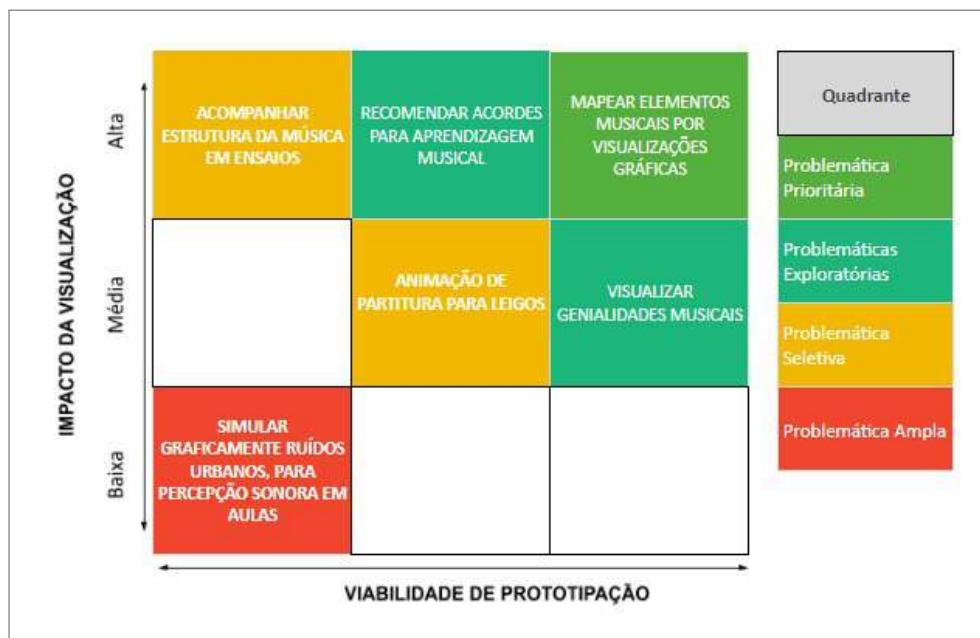
Percebemos, que dois dos colaboradores já realizam a descrição da problemática propondo soluções de software pelo termo "programa", para aprendizagem de leitura de partitura para leigos e a No entanto ao reunirmos este conjunto de levantamentos questionamentos e descrições, conseguimos gerar uma Matriz CSD, que possibilitou uma análise de relevância para seleção da problemática.

Segundo Paula (2017) a Matriz CSD é uma técnica que ajuda a compartilhar Certezas, Suposições e Dúvidas, elencando os pontos de atenção do projeto facilitando definir onde se concentrar ou no que focar, ou seja na tomada de decisões. E Gaebler (2015) complementa que a sua utilização por *shared spaces* auxilia na definição do escopo do desafio enfrentado, considerando o que já é conhecido, hipóteses levantadas e o que ainda é desconhecido mas precisam ser investigado, de modo geral, nos auxiliando no alinhamento das problemáticas mantendo-as dentro do escopo.

Ressaltamos que neste primeiro momento não foram analisados perfis de colaboradores, pois o objetivo seria realizar uma coleta abrangente e mapear problemáticas na área. Registraramos seus *feedbacks* apenas pela documentação online para aproximação da discussão e formação de hipóteses, realizando tudo via web para facilitar o compartilhamento e respostas rápidas na seleção do problema de pesquisa.

E como demonstrado na foi definido qual o problema levando em consideração o eixo de Prototipagem na viabilidade de desenvolvimento e o eixo de impacto da visualização musical na proposta, as quais remetem aos objetivos de contribuições em relação aos aspectos e técnicas da Visualização da informação na música. Em que foram elencadas as problemáticas nos quadrantes da figura 3.1.

Figura 25 – Problemáticas



Sendo assim, tivemos como resultado a problemática prioritária a do "mapeamento de elementos musicais por visualização gráfica", classificada com mais alta viabilidade de desenvolvimento nos dois eixos e priorizada pela maior aplicação das técnicas de representações visuais relacionadas com as informações musicais.

As *Problemáticas Exploratórias*, "visualizar genialidades musicais" e "recomendar acordes para aprendizagem musical" são tangenciais e serão utilizados na fase exploratória de experimentações, para provocar e reforçar a necessidade de compreender fenômenos musicais. Destacamos estes problemas pois são citados como desafiadores na área de música, e o segundo é posicionado em sua orientação na matriz de decisão com um alto impacto inovador.

As *Problemáticas Seletivas*, "Acompanhar estrutura da música em ensaios" e "Animação de partitura para leigos", que por serem muito específicas foram deixadas como propostas de pesquisas futuras, que apesar de seus potenciais de impacto da visualização esteve em declínio em relação ao critério desenvolvimento e prototipação pois exigiria aprofundamentos nas áreas de interação e dinâmica da informação musical.

E por último a *Problemática Ampla*, que possuía baixas características em relação ao seu impacto e viabilidade pois já existem debruçamentos de pesquisas no escopo da área de som. Diante destas problemáticas, definimos por fim, que a problemática geral desta pesquisa seria voltada para a junção do "Mapeamento de elementos musicais por

"visualização gráfica" e a "Visualização genialidades musicais", considerados pelos eixos da matriz CSD, em que ambos possuem maior viabilidade de prototipação e seus impactos são importantes para a contribuição a comunidade de música.

Alguns diretórios e fóruns online compostos por músicos, exploram a temática com discussões. Em sua maioria com perspectivas experimentais para compreender algo na música que não conseguem explicar, como por exemplo fenômenos nos hits de sucesso, influências musicais de artistas. Além de ser também relevante, nas plataformas de ensino, composição e produção musical, como a EDMPROD (2019) que propõe conteúdos para criações de composições, em postagens como o guia para escrita de melodia memoráveis desenvolvendo uma abordagem que os usuários explorem a imagem mental musical. Seja no processo criação de novas músicas tanto para análise de arquivos MIDI por desenhos musicais ou imagens geradas por meio de Digital Audio Workstation (DAW), onde pode identificar características elementares da música como repetição, notas longas seguida do final da melodia, ritmos diferentes, alcance rítmico e variações.

Destacamos musicólogos que estudam tal temática, objetivando compreender as "Genialidades musicais", autores como Wen (2017), o qual traz um estudo de sete músicas geniais destrinchando-as pela perspectiva da análise Musical. Buscando compreender elementos na música que não conseguem explicar tão facilmente, utilizando o recurso de escrita literal com textos densos e no máximo auxiliado por trechos de partituras. Mas ressaltamos que nesta pesquisa temos como objetivo em utilizar este tema das genialidades musicais, apenas como um problema norteador para realizar provocações no processo criativo de Design e inovação.

Neste mesmo contexto, sabendo das potencialidades da tecnologia como meio para ampliar as possibilidades de exploração da comunicação de informações. Temos como motivação de pesquisa o debruçamento e investigação de visualizações musicais computacionais, especificamente dos elementos estruturantes de música como ritmo, harmonia, melodia, e sua transposição enquanto informação de maneira comunicável e explicativa visualmente para facilitar a compreensão de fatores em obras musicais.

Tendo como questionamento norteador e provocativo sobre "Como representar o que é valioso e genial em uma música?". Destrinchando a discussão e permitindo conhecer novas visões das problemáticas existentes em compreender suas complexidades e originalidades, representá-las e analisar as dificuldades em transpor a informação musical em visual, diante de dados tão subjetivos como os da música. Por fim, estamos interessados em dissertar sobre o desenvolvimento de soluções para tal problemática e como a análise visual computacional podem auxiliar a comunidade de Música.

4 ESTUDO DE CASO: COMUNICANDO VISUALMENTE A MÚSICA

"Desde os primórdios da humanidade, a expressão e comunicação de ideias é feita sob a forma de representação gráfica, são inúmeras as representações de animais e objetos em paredes rochosas de cavernas e de locais que o homem ocupou ao longo dos tempos. "(MARQUES; FLORES; SOUTO, 2017, p.01)

Na música não é diferente, há uma necessidade de expressarmos e comunicarmos ela visualmente pela possibilidade de compreender alguns aspectos e complexidades dos seus elementos estruturais, através de representações gráficas. Neste capítulo, realizamos um estudo de caso com aplicação do protocolo experimental citado na metodologia, para desenvolver novas formas de visualizar informações estruturais da música. Estas informações são exploradas por meio de processos, métodos e recursos de software para geração de visualizações. Tudo isto tendo como base a abordagem Design Thinking, que centraliza os usuários como protagonistas, realizando ciclos com as etapas de Problematização, Ideação, Prototipação e Avaliação.

4.1 PROBLEMATIZAÇÃO

A etapa de problematização, é a primeira fase do protocolo experimental estruturado, tendo como objetivo a imersão no problema, com suas descobertas registradas pelas demandas mais citadas pelos usuário envolvidos tendo como base o estado da arte e os objetivos de pesquisa. Sendo indispensável o papel dos usuários como centro do processo de construção da solução para melhorar a comunicação das informações musicais. Pois como reforça, Rocha et al. (2012, p.06) a maioria das ferramentas já existentes para visualização musical tem apenas "objetivos parciais e práticas imediatas, sem necessariamente gerar uma contribuição efetivamente compartilhada com a comunidade interessada". Por isso, nesse momento trazemos a problematização conectada com contextos reais a fim de estimular ideias e buscar soluções da problemática de comunicação visual dos elementos musicais.

Nesta pesquisa, temos a realização de análises de obras musicais através de processos de Design Thinking, envolvendo descoberta e enquadramento do problema. Direcionando a investigação de nossa hipótese de pesquisa em relação a comunicação de informações musicais por meio dos recursos visuais, pelo questionamento provocativo descrito na próxima seção.

4.1.1 Pergunta Provocativa

Para investigar o objetivo geral desta pesquisa, da comunicação visual das informações musicais, listamos algumas problemáticas exploratórias no item (3.1) com base nas

discussões e coleta realizada nas pesquisas preliminares. E trazemos neste momento para fundamentar e nortear o processo de ideação, nossa pergunta provocativa: "Como comunicar visualmente genialidades musicais?".

Elaborada como forma de engajar os participantes colaboradores a destrinchar e explorar possibilidades criativas de comunicar obras musicais.

Partindo do princípio que descrever o porquê de uma obra musical ser genial, é uma tarefa inquietante e complexa. Incentivamos a leitura de atribuição de qualidade de uma música provocando o pensamento criativo dado este questionamento, e fazendo as pessoas procurarem informar e explicar visualmente os elementos musicais, como fonte para registrar os aspectos comunicativos citados a serem enfatizados na construção das visualizações.

Sabendo que ao lidarmos com o termo "Genialidades" e seus vários conceitos possíveis de exploração, reforçamos que neste trabalho o utilizamos apenas como um meio do processo de descoberta no Design Thinking. Para imergir na problemática e coletar dados qualitativos em relação a percepções das pessoas em relação as informações musicais.

Inicialmente com a realização de pesquisas exploratórias sobre a temática, onde alguns profissionais de música como o rapper Jay-Z em uma entrevista na (ROLLING STONE, 2011) descrevem alguns aspectos que fazem uma boa música:

"Quando você ouve uma ótima música, pode pensar em onde estava quando a ouviu pela primeira vez, os sons, os cheiros. Leva as emoções por um momento e as mantém por muitos anos. Isso transcende o tempo. Uma ótima música tem todos os elementos chave - melodia; emoção; uma afirmação forte que se torna parte do léxico; e uma ótima produção." (ROLLING STONE, 2011, tradução nossa)⁵

Pelo conjunto de fatores informacionais que compõem uma obra, sejam eles cinestésicos, culturais, emocionais todos eles abstratos. São realmente difíceis de caracterizar ou definir e ainda mais de materializá-los visualmente, o que aumenta ainda mais os desafios representacionais da nossa problemática.

Alguns estudiosos já investigam a temática selecionando algum fator para estudo, como o cientista da computação e músico Dr. Mick Grierson, da Universidade Goldsmiths, que faz uma investigação sobre músicas icônicas. Segundo Cox (2015) descreve, sua investigação parte do princípio de selecionar as 50 melhores músicas dos últimos 10 anos, pelos seus aparecimentos nas sete listas das principais revistas de música incluindo Rolling Stone, VH-1, NME and Q magazine, e outros jornais. Realiza análises, utilizando seus dados através de um software analítico, considerando alguns aspectos como tonalidade, número de Batidas Por Minuto (BPM), variedade de acordes, conteúdo lírico, conteúdo timbral e variação sonora. Tendo como resultado, recursos dos quais elas tinham em comum, o

⁵ When you hear a great song, you can think of where you were when you first heard it, the sounds, the smells. It takes the emotions of a moment and holds it for years to come. It transcends time. A great song has all the key elements — melody; emotion; a strong statement that becomes part of the lexicon; and great production. JAY-Z (ROLLING STONE, 2011)

pesquisador descobriu que cerca de 80% delas estavam em uma chave principal, ou seja em um grupo de tons, a uma proporção semelhante as notas de A, E, C ou G. A maioria das músicas tinha cerca de 500 batidas na música inteira e seus tempos médios eram de 125BPM, com cerca de 40% sendo 120BPM. As mudanças de acordes foram baixas na maioria das músicas, entre 6 e 8 na lista de músicas. O que a maioria das músicas tem em comum é a sua variação de sons e dinâmicas, e a maneira singular como estes elementos são combinados em cada música. Com toda esta pesquisa analítico comparativo e quantitativo, o autor conclui acrescentando que:

“Mesmo aplicando processos científicos, o que é considerado icônico depende, em última análise, do indivíduo. Minha conclusão é que se você quer uma fórmula para criar boa música, existe uma: você só precisa fazer algo que soe bem.”(COX, 2015)

Além de outros diversos fatores que são abordados nas discussões de fóruns e blogs de músicos sobre a temática, como o MONKEYBUZZ(CASSOLI, 2015) que fala dos contextos da musicalidade na modernidade, considerando que a definição do que é belo também está a depender da seleção das pessoas enquanto ouvintes e do tempo destinado ao reconhecimento de obras geniais. Afirmando que,

A tecnologia também influencia nesta questão da percepção da genialidade. A quantidade de informações pelas quais somos bombardeados é imensa e tentar capturar a aura de um gênio e a análise é cada vez uma tarefa mais difícil.”(CASSOLI, 2015)

Tudo isto reforça a necessidade e relevância desta pesquisa, que tem como proposta a utilização de explorar meios para comunicar conceitos de área de música para simplificar seu processo de comunicação e torná-la mais acessível. Pois como reforça Rocha et al. (2012, p.06), nesta área é fundamental a criação de ferramentas que possam ser disponibilizadas publicamente em condições de serem utilizadas por um grupo mais amplo de pessoas - mesmo aquelas que estejam fora de grupos e instituições acadêmicas. Para que sejam reconhecidos, valorizados e dar importância a estudos mais aprofundados nesta linha, dentre eles a experimentação de possibilidades de comunicar estas informações.

4.1.2 Os elementos estruturais da música

Para começarmos a destrinchar a problemática precisamos primeiramente aprofundar alguns conceitos da música enquanto objeto de estudo, ela é composta por três elementos básicos - Melodia, Harmonia e Ritmo-, em resumo são definidos como:

- (1) MELODIA, Combinação dos sons sucessivos, dado pelo conjunto de notas tocadas sequencialmente em uma canção. a concepção horizontal da Música.

- (2) HARMONIA, é a combinação dos sons simultâneos, ou seja notas de tons diferentes tocadas juntas ao mesmo tempo, ou seja a concepção vertical da Música. concepção ao mesmo tempo horizontal e vertical da Música.
- (3) RITMO, é a combinação dos valores tempo."(NOBRE, 2008, p.02)

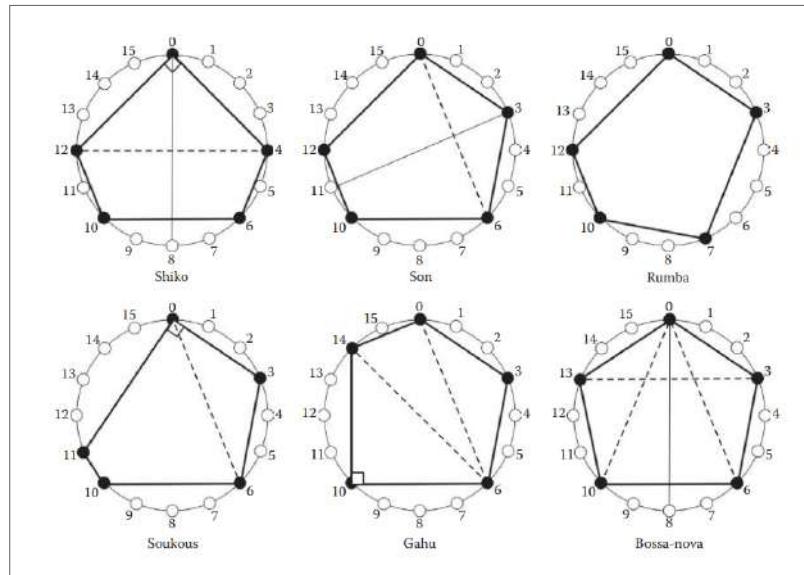
E também há o timbre que "é o que diferencia o som de um violão do um som de um violino"(RODRIGUES, 2014). De modo geral, estes são os elementos estruturais da música e são importantes para fundamentar e concatenar a completude das obras entregues aos nossos ouvidos. Com isto, vale a pena ressaltar que a Harmonia, possui duas maneiras de percebê-la ao ouvirmos uma música, a primeira quando soa um som agradável é chamada Consoante, e o segundo tipo de conflito é chamado 'dissonante', que geralmente remete a sons "desajeitados". Diante destes e tantos outros conceitos de estudo da Teoria Musical, destacamos como foco nesta pesquisa: o *elemento rítmico*, com ele buscaremos experimentar formas de comunicá-lo visualmente.

O ritmo, possui um conjunto de elementos básicos, mas a sua propriedade fundamental é o compasso, definido por (SANDRONI, 2012) como "uma recorrência periódica de acentuações que estruturam o ritmo". Para Casagrande (2019) é determinado pela duração, velocidade, intensidade e os valores de cada nota, é o padrão de comprimentos de notas longas e curtas. E são suas acentuações, pausas e intervalos que marcam a base musical.

Sendo assim para representar o ritmo enquanto *estrutura visual* precisamos estudar e analisar suas sequências musicais. Para executá-lo, os músicos geralmente utilizam de pisadas ou batidas repetindo-as e fazendo contagens de pulsos em 1,2,3,4. O ritmo também possui uma característica única que são as assinaturas de tempo ou fórmula do compasso, com ela podemos rapidamente identificar certos tipos de música como blues ou marchas, pois são ritmos característicos. Para (TOUSSAINT, 2013) "O ritmo está associado ao tempo e à direção horizontal em uma partitura típica da música ocidental." A percepção do ritmo continua problemática para o receptor, porque resulta de uma operação mental de associação dos sentidos, aí incluído o sentido cinestésico. Em alguns casos, difícil de perceber analiticamente e complexo devido aos seus diversos fatores subjetivos relativos a sua prática.

Contudo, há possibilidades amplas de exploração destas complexidades, Toussaint (2013, p.6) ressalta que "é preciso caracterizar o ritmo como manifestação de um processo que emerge de um processo de fusão de sinais físicos com estruturas perceptivas e cognitivas da mente", o estudo destas complexidades podem ser facilitados à luz dos fundamentos da estrutura musical, considerando que o ritmo é um fator genérico, em relação ao reconhecimento de padrões por gêneros musicais e instrumentos de percussão. Mas também, complementado pelo aspectos visuais, como na demonstração da figura 26 onde utiliza da representação de ritmos poligonais para compreender propriedades musicais.

Figura 26 – A geometria das seis linhas do tempo distintas



Fonte: (TOUSSAINT, 2013, p.34)

Com a visualização é possível realizar, análise conceitual e comparativa da formação de diferentes polígonos identificando repetições rítmicas, o autor Toussaint (2013, p.34) descreve que geometricamente, as linhas determinam triângulos isósceles, juntamente com o duas arestas adjacentes nos polígonos. Musicalmente, esse triângulo indica que existem dois intervalos inter-início adjacentes da mesma duração. Destacando, a análise do ritmo "Bossa-nova" que possui três linhas tracejadas, indicando que a trajetória do ritmo varia consideravelmente seu pulsos em relação aos outros gêneros.

Desta forma é possível relacionar a análise rítmica com os aspectos visuais e seus estudos podem nos ajudar a entender o ritmo da obra musical. Neste mesmo sentido, Sandroni (2012) complementa que ao analisar o samba por exemplo, percebe a influência da forma musical na representação e na estrutura melódica do estrofe com semicolcheias rebatidas, enquanto o refrão coral, é repetido duas vezes a cada ciclo do samba. Utiliza valores mais longos, que também são demonstrados na duração da nota na partitura na figura 27.

Figura 27 – Paradigma do Tresillo



Fonte: (SANDRONI, 2012, p.174)

São utilizadas descrições textuais complementada pela demonstração visual da partitura, para explicar o paradigma do tresillo, as suas durações rítmicas com as três colcheias

em compasso 2/4. Com tudo isto, é possível perceber que o recurso visual associado as formas de representação da partitura auxiliam na compreensão de conceitos minuciosos, enriquecendo o argumento explicativo da informação. No entanto, o ritmo apesar de ser essencial na música, ainda é pouco explorado ponto de vista representacional, gerando dificuldades de compreensão principalmente para os iniciantes na área de música. Para Hein (2013) as transformações rítmicas normalmente exigem habilidades de leitura musical e performance muito sofisticadas para compreender e executar. Sendo assim estudos e análises auxiliados por visualizações musicais podem permitir melhor compreensão da estrutura musical e seus elementos.

4.2 IDEAÇÃO

A fase de ideação tem como objetivo explorar a problemática levando a discussão a contextos reais, utilizamos a aplicação de experimentos para explorarmos o processo de transposição visual e da criatividade das pessoas em relação ao pensamento comunicativo de uma determinada música escolhida. Para isto realizamos uma imersão da problemática, conversamos com pessoas, entendemos contextos, e solicitamos a contribuição de participantes para explanarmos possibilidades de desenhar a música em suas diferentes formas gráficas. Coletando *insights*, para trabalharmos na criação de novas representações da informação musical e armazenarmos um conjunto de esboços de visualizações musicais para posterior análise e transformação digital.

Nesta pesquisa foram realizados dois ciclos criativos, inicialmente através de um experimento piloto e pelo *workshop de co-criação* com ambiente controlado. Neles utilizamos o procedimento metodológico da prototipação em papel, como tarefa para transposição das ideias através de materiais simples como papel, lápis colorido e de diferentes espessuras. Todo processo de comunicação visual da música é livre a cada participante pela sua escolha gráfica. Apenas realizamos um recorte em relação ao tipo de representação, enfatizando a visualização estática pela necessidade de simplificar a informação de maneira objetiva e prototipar rapidamente em papel para gerar resultados estáticos como uma síntese da música como um todo.

O processo de transportar um pensamento ou ideia pelo desenho, são baseados nas propriedades gráficas para criação de visualizações de informações. Assim precisamos atentar brevemente para os conhecimentos fundamentais da comunicação visual, que remete ao estudo do desenho e de suas técnicas de representação suas estruturas visuais, e das características das visualizações bidimensionais, ou seja em duas dimensões (X,Y), caracterizada pela representação e um objeto e sua imagem em um plano 2D. Estas propriedades são categorizadas e definidas por Silva (2006, p.17) na figura 28. Nelas são demonstradas propriedades como: orientação, escala de cinza, cor, tamanho e textura, e adaptamos a imagem incluindo a categoria "formas", pois consideramos que o estudo da forma em fun-

ção das informações musicais podem potencializar a comunicação gráfica para transmitir ideias e analisar dados por exemplo.

Figura 28 – Propriedades Gráficas

Propriedade	Exemplo
Orientação	— / \ \
Escala de cinza	● ● ● ● ●
Tamanho	○ ○ ○ ○ ○
Cor	● ● ● ● ●
Textura	● ● ● ● ●
Forma	○ □ △ ◇ □

Fonte: Retirada e adaptada de: (SILVA, 2006, p.17)

As cores também possuem um papel importante do ponto de vista de entidade representativa de determinado dado quantitativo, trazendo os conceitos da Teoria das cores, com sua funcionalidade enquanto estrutura visual que transmite equilíbrio, composição, proporção e harmonia e estes elementos são facilmente utilizados na descrição de informações musicais. Então durante o processo de ideação os colaboradores foram aplicadas estas técnicas de desenho associadas a representação de uma ideia em relação a traçados e formas gráficas.

Durante o processo de ideação, quando necessário utilizamos a técnica de *brainstorming*, ou seja uma tempestade de ideias, com o objetivo de incentivar quando o participante estivera com dificuldade em explorar a problemática, buscando extrair suas ideias motivados e definirem o que gostariam de representar pelos questionamentos: O que você acha de tão interessante nos aspectos da musicalidade da obra escolhida? Como você considera que podemos associar padrões visuais aos elementos musicais? Como expressar visualmente e esboçar os aspectos da sua música genial?, com este levantamento da discussão e realizando o alinhamento com os participantes pela necessidade deles em saber de que forma pode contribuir com a pesquisa.

Por vezes também demonstramos rapidamente um *moodboard*, com referências visuais para utilizarem como inspiração com exemplos de tipos de traços, formas e transformações geométricas. Utilizamos as *estruturas visuais* para auxiliar nas sessões de desenvolvimento de visualizações e na compreensão da música enquanto objeto gráfico, mas enfatizamos a

importância do participante explorar seu próprio processo criativo e criar suas próprias formas.

E por fim, explicam seus esboços pela associação do elementos informacionais da música em relação as propriedades visuais, descrevendo o que consideram importante nas obras musicais escolhidas, cada um trazendo sua perspectiva e criando seu esboço final de uma visualização musical. Como desfecho demonstrávamos alguns projetos na área de Visualização de Informação Musical e nossos objetivos de pesquisa com suas contribuições resultantes. Na próxima seção detalhamos cada uma das etapas que nos permitiram com criar narrativas de futuros ideais, pelas explicações e anseios dos colaboradores em relação ao que é possível ou não representar na música.

4.2.1 Experimento Piloto

A primeira rodada de criação de visualizações, foi realizada por este experimento piloto com um grupo focal, onde contamos com a colaboração de participantes de um público misto com 9 participantes, 6 não-músicos e 3 músicos, todos integrantes do grupo de pesquisa Mustic, ou seja com formação superior e atuantes na área de Ciência da Computação. Que se disponibilizaram a participar da coleta exploratória dos processos criativos, trazendo contribuições e nos auxiliando a entender em contextos reais como as pessoas pensavam música e associavam este pensar ao aspecto visual.

Obtivemos informações individualizadas de cada colaborador, que tinham como tarefa desenhar as informações que gostariam de enfatizar e comunicar de uma obra escolhida. A autora como mediadora do processo realizou registros e uma observação sistemática do processo de construção das visualizações como demonstrado na figura 30. Após a criação do esboço, cada participante era incentivado a fazer anotações em *post-it* sobre os desafios que enfrentaram em representar a sua música escolhida, e posteriormente compartilhavam sua ideia com o grupo por discussões orais para obter *feedbacks* falados e projetados para que todos da equipe acompanhassem a análise musical e visual realizada.

Figura 29 – Processo criativo



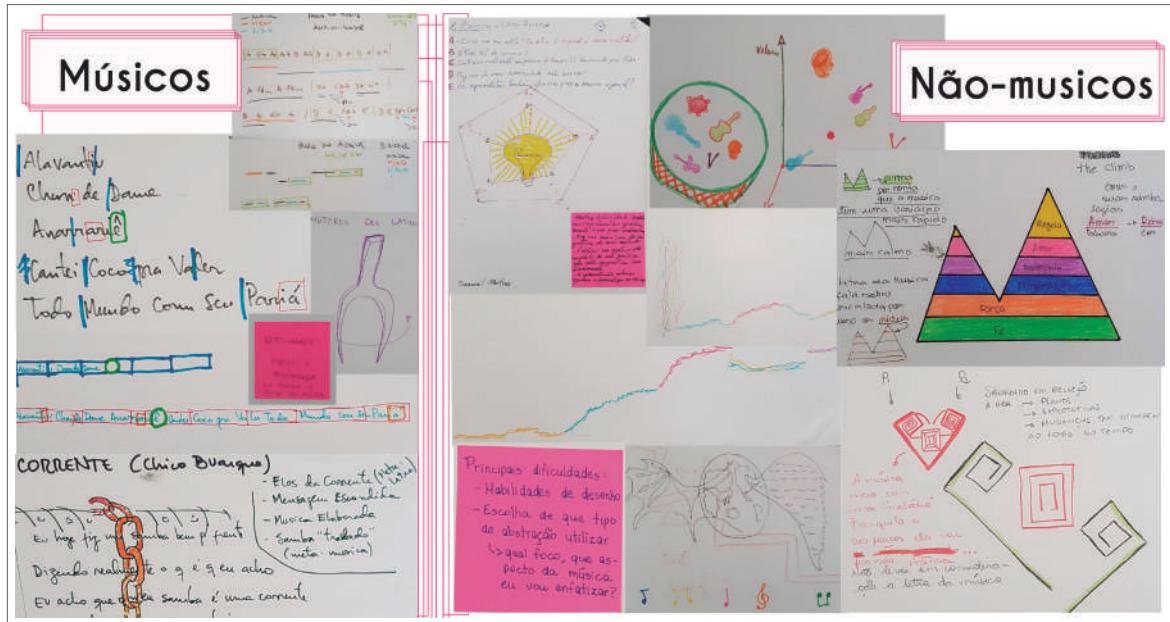
Através dessa primeira coleta de *insights*, conseguimos entender a problemática por várias perspectivas contextuais, sociais, emocionais, do conteúdo musical, pela estrutura da letra, concatenações da letra com as funções elementares da música. No entanto, foi possível perceber de imediato as dificuldades, especialmente dos não-músicos, em desenvolver esboços de visualizações e representar as informações musicais.

Percebemos que para os não-músicos a dificuldade deles estava em separar a informação emocional do conteúdo musical. Descrevendo através de relatos explicações associadas a aspectos emocionais que a música transmite, como por exemplo se ela faz lembrar algum momento, se ela é dançante, ou até mesmo destacando suas características virtuosas relacionadas a como determinado artista se expressa na extensão da obra musical diante de algum cenário histórico. Um deles relata "A minha maior dificuldade foi pensar o que eu considerava interessante, e dizer as diferenças que eu queria demonstrar". Ou seja, não possuir a habilidade da percepção musical ou conhecimento da estrutura musical dificultou a análise da música puramente por seus elementos como ritmo, harmonia e melodia.

Com questionamentos e afirmações como "Qual foco, que aspecto da música vou enfatizar?" ou "Dificuldade em identificar o que realmente destacar". Já os músicos, tinham mais facilidade em explicar oralmente o que considerava importante na musicalidade, mas tinham dificuldades em esboçar. Como um deles cita, "Dificuldades em desenhar a música nos intervalos certos", por vezes limitados ao pensamento das representações já existentes, seja em formato piano roll, pelo modelo de notação por ciframento, ou porque buscavam

associar a representação aos elementos descritivos da letra. Como demonstra os resultados demonstrados na figura 30.

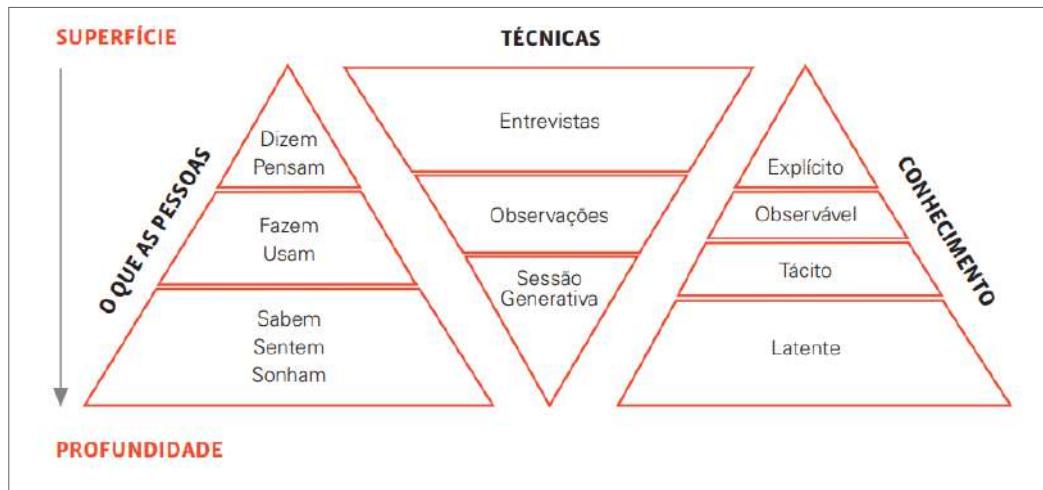
Figura 30 – Resultados Experimento piloto



Todo o processo de geração das visualizações nos trouxeram novas visões sobre a problemática e contribuições de perspectivas diferentes de cada participante envolvido. As lições aprendidas neste primeiro encontro organizado com essa série de atividades do experimento piloto, estão relacionadas a necessidade melhorias na aplicação do método com um planejamento mais controlado, pois percebemos que o tempo ficou extenso e prolongado a 4 horas de discussão pela necessidade de aprofundamento do estudo, levando a poucos resultados objetivos. Além da necessidade de seleção do público-alvo e a necessidade de utilização do método de *personas* para afunilar e restringir os objetivos e com quem abordar a problemática.

O método de *personas*, é considerado como uma poderosa ferramenta do Design Thinking, auxiliando na identificação dos tipos de usuários cabíveis a problemática, que segundo Vianna et al. (2012, p.80) "representa motivações, desejos, expectativas e necessidades, reunindo as funcionalidades significativas de um grupo abrangente", ou seja, nesta etapa precisamos direcionar tais experimentos ao público que já estivesse envolvido com a área de Música e Visualização de Informação ou Design, focando no eixo técnico de imersão da problemática em relação as personas como demonstra a figura 31. A definição das personas são essenciais para termos profundidade da problemática em relação ao que as pessoas pensam, utilizando técnicas e explorando seus conhecimentos de uma determinada área, em nosso caso buscando significar e associar valores informativos e visuais da música.

Figura 31 – Definição de personas



Fonte: Retirada de: (VIANNA et al., 2012)

Assim, definimos que no experimento final os participantes que desejassesem colaborar precisariam ter um perfil mais técnico, com conhecimento e noções básicas da área de Música, de Visualização de Informação ou Design. Tendo como papel nos auxiliar na tomada de decisões em relação aos objetivos traçados, além de trazer suas vivências e noções mais latentes das necessidades de comunicar alguma informação musical.

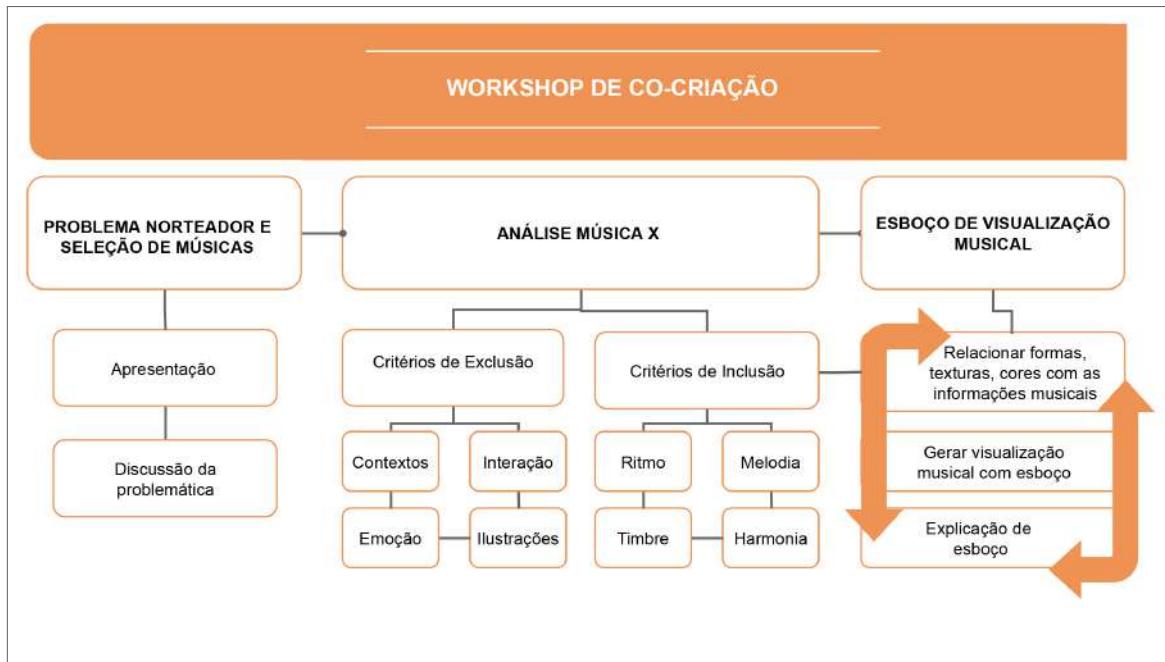
Nesse momento a base técnica e toda trajetória de conhecimento dos participantes destas áreas, trazem contribuições mais direcionadas ao gerarem as visualizações. Nosso papel enquanto mediadores do processo foi buscar conhecer seus anseios para a problemática além de analisar, mapear e categorizar possibilidades de visualizações musicais possíveis dentro do nosso escopo através de suas colaborações. Assim, utilizamos de sessões generativas, observações e entrevistas e desenvolvemos um processo estruturado de criação das visualizações guiado pela exploração de propriedades gráficas associadas aos conceitos musicais, que descrevemos mais detalhadamente na próxima seção.

4.2.2 Workshop de co-criação

Para comunicar informações musicais através de visualizações, realizamos o workshop de co-criação, aplicando o protocolo experimental de imersão completa a problemática e explorando processos criativos através de sessões generativas, estruturada e controlada com gravação e registro por áudio, com cada 16 participantes colaboradores. Que permitiu uma troca de comunicação com pessoas que possuíam conhecimentos na área de música. Onde foram abordadas sugestões, ideias, e *feedbacks* do próprio processo experimental. Estruturado e descrito pelo *roadmap* da figura 32 abaixo. Aplicado por sessões generativas com cada participante e seu planejamento de execução é detalhado no Apêndice A. De modo geral, é subdividido em três momentos importantes: (1)Imersão do problema norteador e seleção de músicas, (2)Análise Música X, ou seja, a escolhida pelo participante.

E por fim, (3)Processo cíclico de criação da visualização, onde o participante consegue explicar a informação musical através do esboço.

Figura 32 – Roadmap Workshop de Co-Criação



A coleta de dados com a abordagem qualitativa realizada através deste protocolo experimental, se deu pelo desenvolvimento do planejamento detalhado em suas etapas no quadro do Apêndice A. Processo pelo qual teria a autora como mediadora, a qual realizara a apresentação da temática e a imersão da problema norteador com o questionamento provocativo "Como representar visualmente genialidades musicais?". Com o objetivo de estimular a discussão e fazer os participantes relacionarem o pensamento musical ao visual. Aplicando o método de observação, mas quando necessário e solicitado, usa de mediações complementares para auxiliar com os fundamentos da área de visualização de informação, e também encaminhando a discussão para seus aspectos descritivos.

Estabelecemos critérios de inclusão e exclusão, demonstrados no diagrama acima, que são baseados nas coletas de campo anteriores, definidos pelas discussões e necessidades citadas em relação a problemática sobre comunicação de informações musicais. O que auxiliou na delimitação da criação de visualizações generalizadas e aplicáveis a diversas músicas, alinhadas com a análise dos participantes.

Ao aplicarmos estes critérios de exclusão, explicamos aos participantes sobre as delimitações ao escopo da pesquisa, solicitando que desconsiderassem conteúdos representacionais relacionados a elementos interativos e ilustrativos, além dos aspectos emocionais ou contextuais subjetivos. Pois remetem a memórias pessoais e a fatores individualistas, que são complexos de parametrizar objetivamente e visualmente. E também pela linha de argumento da necessidade de explorações também no campo de análise dos elementos estruturais da música.

Enfatizamos que não descartamos relatos desse cunho, pois esta narrativa também complementa a discussão da música enquanto arte que é, carregada de suas complexidades. Consideramos a importância da subjetividade como elementos que complementam a linha argumentativa e permitem enriquecer o discurso para gerar interpretações em seus diversos contextos, incluso o da fundamentação artística. Assim como o da expressão musical, que segundo MELO (2006) é o conjunto de todas as características de uma composição musical que podem variar de acordo com a interpretação, mas possuem características de execução fundamentais da música, como andamento e dinâmica.

A abordagem qualitativa desta pesquisa é inclusive complementada pela coleta de informações durante o processo de criação, através de *storytelling*, definido na literatura como "histórias que também contam dados" Knaflic (2015), e são complementares a pesquisa com o processo de transcrição de expressões orais, e relatos que serão analisados posteriormente no contexto da pesquisa.

No entanto, sempre direcionamos os objetivos analíticos por isso priorizamos os critérios de inclusão em relação aos elementos musicais e seus estudos quanto a informação musical. Pois como atenta (MATTOS, 2006), numa Análise Musical podem ter detalhes que não precisem ser enfatizados para não afastar-se das características fundamentais, como por exemplo os aspectos emocionais e sensoriais. Sendo assim os relatos subjetivos são apenas complementares, e como o mesmo autor ressalta

"Na conclusão da análise, é importante fazer juízos subjetivos – comentar sobre a beleza e unidade da obra. Da mesma forma, se o analista encontra pontos fracos em uma obra – se suas repetições são excessivas ou falta unidade orgânica – o momento para afirmar isto é na conclusão." (MATTOS, 2006)

Priorizamos filtrar o processo de geração de ideias junto com os colaboradores buscando entender o pensamento musical e como explicar conceitos musicais através da visualização, ao aplicarmos o experimento definimos alguns objetivos são eles: coletar análises de informações musicais, explorar o processo criativo de comunicações das informações musicais através de esboços de visualizações estáticas, discutir e coletar dados sobre a temática com ênfase nos elementos estruturais da música.

As etapas são as seguintes, o participante escolhe uma música para realização da análise, realiza a descrição em tópicos das informações que considera mais relevante para filtrar e tentar decifrar o que mais gosta na música selecionada. Identificando o porquê de considerá-la genial, como uma forma de provocar que ele olhe com mais cuidado e destrinche cada detalhe, cada elemento e que consiga comunicar os aspectos que considera importante. Quando percebido, ao descrever por via oral ou escrita, analisamos juntos se aplicam-se aos critérios de análise, de modo que ele enfatize os elementos importantes e consiga comunicá-los. E inicializa o desenvolvimento da ideia entrelaçando o pensamento musical ao visual, com a criação final do esboço.

Caso o participante sinta dificuldades em executar a transposição da imagem musical materializando-a no papel, são incentivados e guiados pela complementação do método de análise musical de (MATTOS, 2006, p.01). Que reúne a descrição da macroanálise dos elementos estruturais da música, permitindo-os examinar e explorar amplas e detalhadas informações na música pelos seus conjuntos de características gerais como demonstrada o esquema da tabela 3, e que sejam aplicáveis em diferentes tipos de música.

Fonte: (MATTOS, 2006)

Elementos	Fatores descritíveis	Fator CT e O
Ritmo	Metro	Aplicáveis
	Tempos	
	Estilo rítmico global	
	Motivos Rítmicos principais	
	Duração das sessões maiores	
Melodia	Inter-relações rítmicas entre os movimentos	Aplicáveis
	Crescimento:forma	
	Estilo melódico geral	
	Perfil melódico global	
	Materiais escalares	
Harmonia	Intervalos mais frequentemente utilizados	Aplicáveis
	Aspectos rítmicos da melodia	
	Recorrência de ideias melódicas	
	Estilo Harmônico geral	
	Unidade e Contraste harmônicos	
Som	Consonância e dissonância	Aplicáveis
	Inter-relações harmônicas e tonais globais	
	Crescimento: forma	
	Meio sonoro	Aplicáveis
	Visão global de contrastes em: timbre, dinâmica e textura	
	Elaboração geral de texturas com relação a música	

Tabela 3 – Esquema de Macroanálise

As descrições desses elementos são geralmente textuais, nos trabalhos de análises musicais realizados geralmente de maneira textual ou oral. Mas complementamos com a possibilidade de representá-los, utilizando esta categorização de macroanálise como direcionamento a identificar os elementos comunicáveis através das análises de suas granularidades, permitindo que o participante as relacionem com a pregnância da forma, ou seja a melhor organização visual para representar tais elementos.

Os fatores, dependem da leitura de percepção de cada participante mas ao analisarmos podemos mapear através destas características norteadoras, são elas tempos, estilo rítmico

global, motivos rítmicos principais, duração das seções maiores, inter-relações rítmicas entre os movimentos entre outros aspectos que são relacionados a execução do ritmo, como repetições, desenvolvimento e variações. CT, é definido como o estado de equilíbrio de repouso ou calma frente ao movimento de animação ou tensão de uma música.

Na prática do experimento os participantes colaboradores, utilizam papel para transferirem *insights* em forma de esboço sobre como comunicariam uma informação musical de uma obra que consideram genial. E através do desenvolvimento com protótipos de papel totalmente experimentais criam novas visualizações musicais, os resultados deste esboços são detalhados na próxima seção.

4.2.3 Esboços de Visualizações Musicais

O desenvolvimento dos esboços das visualizações musicais, é o segundo momento do protocolo experimental, nele exploramos processos criativos através prototipação rápida por papel. Utilizando majoritariamente o desenho, como ferramenta para a resolução de problemas complexos, segundo Marques, Flores e Souto (2017, p.05) "pode ser entendido como uma representação gráfica de ideias, conceitos e entidades reais ou imaginárias." O consideramos como meio para facilitar a comunicação gráfica, e o teremos como fonte para permitir a transferência das ideias respectivas as percepções de obras musicais e através de materiais acessíveis.

Para coleta dos esboços, foi proposto aos participantes explorarem o espaço 2D de uma folha de papel, quadros visuais estáticos que explicassem através de representações as informações musicais e os conceitos considerados complexos na sua estrutura musical. O resultando foi um conjunto de visualizações das mais variadas características e considerações do ponto de vista analítico dos elementos musicais. Processo este denominado por Bregman e McAdams (1994, p.03) como "análise de cena auditiva"(ASA) o qual descreve como "o agrupamento e segregação sensorial dados em representações mentais separadas, os chamados fluxos auditivos", e em nosso caso complementamos pela transposição e materialização dos dados musicais através de caracterização por representações visuais. Permitindo-os desenvolverem no papel visualizações, com base em suas percepções e experiências, relacionando as informações musicais com as propriedades visuais que considerassem elementares.

Iniciamos o processo experimental com um enredo provocativo, envolvendo o participante no *storytelling* da problemática e questionando "Você já ouviu uma música, e pensou que genial e não soube explicar o porquê?". Buscando envolvê-lo a discussão sobre as complexidades em comunicar uma informação musical, como representá-la? como explicá-la através de uma visualização estática?. Inserindo-os em um cenário reflexivo, em que precisavam buscar possibilidades de transpor as informações que consideravam importantes. Alguns deles optavam por elencar em tópicos a descrição que está relacionada com a estrutura de conceitos da música e debatê-las posteriormente, outros já buscavam

formas de representá-las como demonstra na figura 33.

Figura 33 – Desenvolvimento de Visualizações



Durante o processo de observação, notamos que para alguns participantes havia a necessidade de explicação que levavam a caminhos discursivos enriquecedores e somente após explicarem oralmente o que consideravam de determinadas músicas conseguiam selecionar uma música e ampliar da visão sobre a temática. E posteriormente levando a associação ao pensamento musical ao visual, pela descrição de percepções e posteriormente o esboço. Os desafios citados recorrentemente pelos participantes são primeiramente da seleção de apenas uma música, de questionamentos "como desenhar uma música?", ou afirmações como "é difícil explicar essa música". E então, quando houveram esses momentos de dúvida que se introduzia alguns conceitos e o olhar para análise musical, auxiliados por técnicas de Design e de Visualização de informação.

O *brainstorming*, realizado no processo de discussão e definição da música e desenvolvimento da visualização, por vezes complementado com a demonstração de um moodboard com um conjunto de formas geométricas, texturas, imagens para impulsionar e preparar o cérebro para a ideação e com o objetivo de comunicar-se visualmente o pensamento musical. Sabendo da complexidade do processo de análise musical e pelos seus densos conjuntos de dados, dificultando por vezes a percepção dos elementos estruturais da música, que para Mountain (1993) "quanto mais complexa a dissonância e mais rápida a taxa de ataques, mais difícil é extrair as partes separadas", ou seja, quando incorporados trazem enriquecimentos difíceis para percepção de padrões aos ouvidos. Então, com a seleção das respectivas músicas consideradas geniais pelos participantes e descritas na tabela 4. Questiona-se em relação a escolha da música "o que destacar", "O que é considerado importante?", "Como esboçar aspectos de uma música genial?", "Como representar as músicas através de propriedades visuais?". Provocando-os a analisar a musicalidade da peça escolhida, os participantes por sua vez imersos no processo passavam a refletir sobre o como transpor a informação musical para comunicá-la. Alguns conseguiam expor em suas fala o que visualizavam e logo transformavam em formas visuais, já para outros facilitaria também descrever esses elementos em tópicos, ou mapa mental. Assim imersos no processo passavam a buscar compreender cada trecho da música e elencar seus elementos musicais através da perspectiva visual.

Participantes	Músicas esboçadas
01	Cordilheira, Correntes, Take Five
02	Bellyache, Maracatu Atômico
03	Machine Gun, Mujeres Del Latino-America,
04	Hearing Blue
05	Bachianinha No. 1
06	Tanguillos de la Frontera
07	The Optimist
08	Zero e Tua
09	Chiclete com banana
10	Eu Não Existo Sem Você
11	Demons
12	Symphony No. 2 Rachmaninoff
13	Wave
14	November Rain
15	É de Fazer Chorar
16	Partido alto

Tabela 4 – Escolha de Músicas geniais

No apêndice 01 B é possível observar os diversos esboços realizados pelos participantes das respectivas músicas citadas. Os quais foram importantes na geração de *insights*, e a coleta destes esboços nos trouxe destaque interessante em relação a representações e

exploração nas formas de visualizar a música.

No desenvolvimento dos esboços foi possível perceber as relações que os participantes buscavam fazer em relação aos sons enquanto forma, as suas regularidades ou não de movimento em relação a música. Até mesmo sendo percebidas preocupações empíricas em relacionar transformações geométricas como translações, rotações com o elemento tempo, e escalonamentos em relação a forma que também relacionavam com dimensão rítmica, ou duração do tempo em relação a alguma batida.

Com isso, a representação gráfica pode auxiliar ao reconhecimento destes elementos, utilizando a forma, enquanto objeto de análise musical, a qual pode ser separada em dois conceitos diferentes,

"[...]forma enquanto organização de partes (forma Binária ou Ternária, Tema e Variações, Sonata, etc.), baseada em certos princípios (unidade versus variedade, contraste versus recorrência); e forma enquanto relacionamento expressivo. O primeiro agrupa e generaliza; o segundo acentua a unicidade de uma estrutura."Neto (2007, p.66)

Este processo de apresentação de elementos visuais associados aos musicais, com formas geométricas, texturas, contrastes é um método já utilizado por compositores, intérpretes e até mesmo professores. Que encontram significados que remetem a outros sentidos que não o da audição, e muitos segundo (NETO, 2007, p.34) recorrem ao uso de imagens, para descrever eventos texturais, como altura, cor, gesto, forma, encontrados em obras musicais e associam os elementos musicais. O participante (09), professor de percussão, diz utilizar especialmente para o público infantil princípios de notações musicais, através de formas geométricas simples como triângulo, quadrado, círculos e descreve "Ter uma resposta visual do que fazer nos tempos certos, é muito interessante". Principalmente pelo fato de as notações clássicas não possuírem marcações ou figuras rítmicas tão expressivas em relação aos eventos rítmicos de um samba, por exemplo, tudo pode ficar a depender de seguir o ritmo. Assim como, a participante (08), como professora de canto, também utiliza em seu método de ensino de musicologia para iniciantes, esta associação visual a musical, e relata:

"Faço isso no sentido de associar o **som** a **imagem**, porque a linguagem musical também funciona com a imagem, não a música em si né, mas é uma ferramenta que vai nos trilhar dentro de uma música, e começar a sentir isso e depois futuramente associar a elementos da partitura." (Relato - Participante 08)

Mas ainda assim, ao desenvolver o experimento pela análise da música que escolheu "Tua - Liniker", afirma que este "é um processo complexo esboçar a música e desafiador generalizar a visualização, para um conjunto de músicas". Assim, buscou selecionar o elemento mais marcante da sua música escolhida, até representar a levada rítmica. Em esboço demonstrado na figura 34 dos participantes (08), (07), (09) e (13). Os quais se alinharam pela utilização de formas geométricas básicas, como triângulos, quadrados,

círculos com análises detalhadas dos elementos fundamentais da execução musical, pelas percepções associadas as estruturas rítmicas e harmônicas.

Figura 34 – Formas Primárias



De modo geral, as formas, eram caracterizadas por seus diferentes traçados, preenchimentos e cores, relacionadas a células rítmicas ou tonalidade das notas, referenciadas pelos eventos mais marcantes com as cores tônicas, ou seja em uma escala de cores principais selecionadas pelo participante. Na representação a participante (08) utilizou traçados curvados em formato de ondas e com linhas verticais que representavam a marcação do ritmo enquanto ao compasso ternário. Associando a marcação rítmica ao seu aspecto dançante, pois considera ser possível realizar performances em sintonia com o ritmo e seguindo os momentos do grave da música, fazendo então o acompanhamento de uma representação que descrevesse visualmente a levada. E assim como o participante (09), também valorizara principalmente os eventos rítmicos, remetendo-os com a repetição das formas com pequenas variações experimentando a representação de padrões rítmicos.

Já os participantes (07) e (13), em suas construções enfatizam as cores das formas como representação de tensões rítmicas e tonais por traçados mais espessos ou cores específicas. Quando utilizam as formas circulares, associam especialmente a momentos de repetição dos acontecimentos musicais, como exemplo a participante (13) descreve "o preenchimento ou contorno dos círculos rosas, representam momentos de mudança tonal, ele

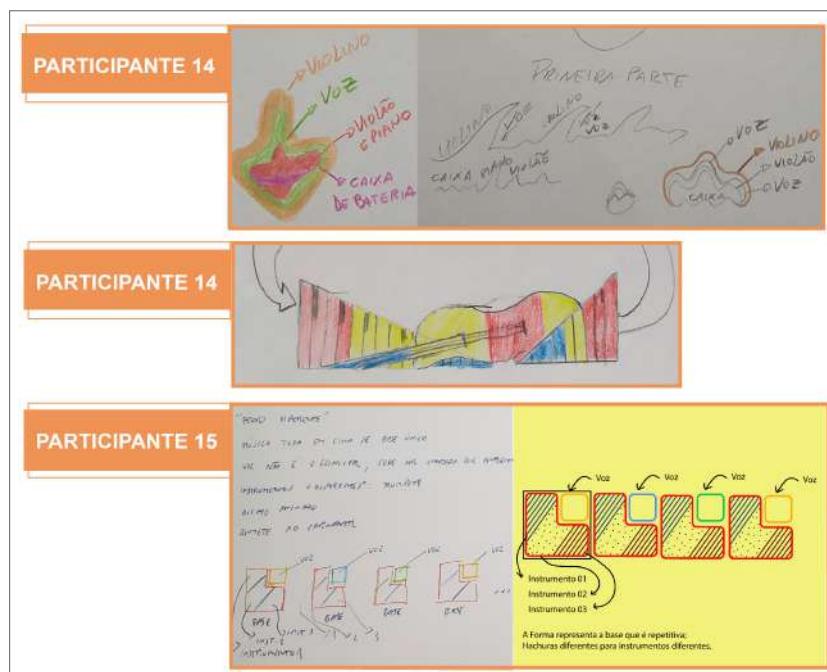
pode abrir em uma parte e fechar um pouco com grave em outra". A percepção de polaridades, flutuações, energias, intensidades e dos conceitos elementares de Teoria Musical, são consideráveis nestes participantes, mas ainda assim consideram difícil comunicar alguns trechos das suas obras musicais escolhidas. E também representam isto no quadro musical, descrevendo-os como traçados caóticos, ou em vermelho considerando que não é muito claro, ou algum caminho muito diferente na finalização da música.

Com os resultados dos esboços também percebeu-se uma preocupação dos participantes em representar a funcionalidade dos instrumentos musicais da obra, referenciando e buscando fazer correspondência do andamento, as pausas e silêncio absolutos determinados pelas cores. O participante (15) conclui que é um desafio interessante representar músicas instrumentais e reforça,

"Descrever graficamente que uma música instrumental é genial, é um grande desafio, pois é bem complicado transferir a musicalidade para uma visualização gráfica." (Relato -Participante 15)

Mas ao identificar o elemento essencial, na música escolhida "É de fazer chorar - Eddie", que observa como sendo uma repetição de uma base única formada por *samples* que compõe o conjunto instrumental. Trazendo o enriquecimento da música nesta descrição, e demonstrada sua representação na figura 35 então a representa por formas com hachuras, elementos visuais vazados os quais cada linha equivale a um instrumento, e na visualização a modificação da tonalidade da voz, está na variação das cores diferentes. Assim como os participantes (10) e (14), que também utilizam as cores para categorizar instrumentos, explorando as formas em função de variações em relação a sua ocorrência instrumental.

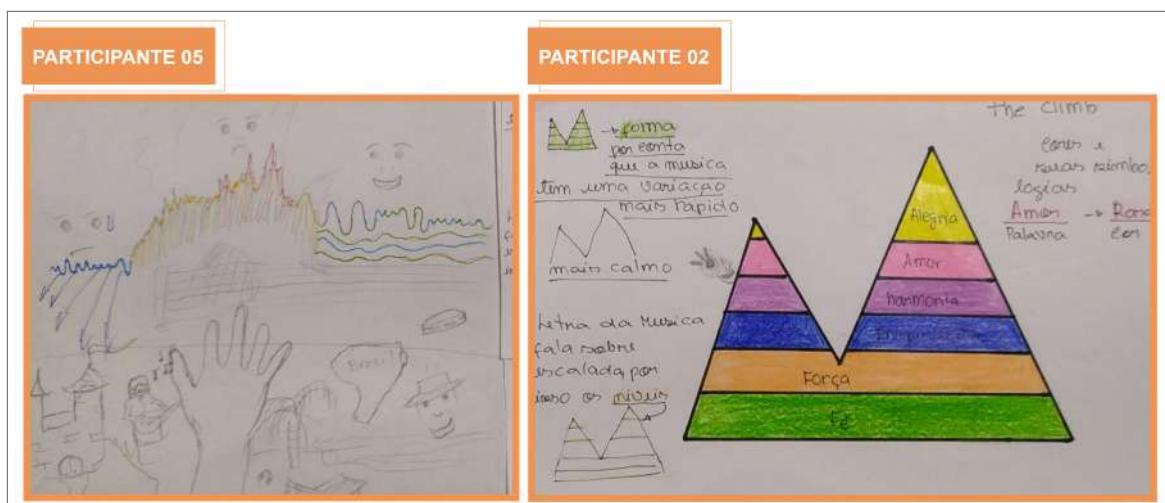
Figura 35 – Esboços Instrumentais



Houveram outras semelhanças de abordagens no desenvolvimento de esboços dos participantes, que estavam muito relacionadas com o pensamento e percepção musical. Mesmo sendo participantes com perfil e músicas diferentes, os padrões repetiam-se na projeção das ideias e nos resultados dos esboços. Principalmente pela representação de texturas, que segundo Mountain (1993, p.02) a abordagem textural trata-se do que desenha a atenção do ouvinte aos parâmetros musicais, sejam os sons combinados, que se misturam como se houvesse muitos instrumentos tocando a mesma nota e tempo, ao processo composicional de mudanças na densidade, ou enfatizando flutuações alcançadas em uma única linha expressa um aumento e diminuição da profundidade, desenhando assim a atenção do ouvinte a esse parâmetro.

Esta descrição explica-se diretamente pela análise textural da obra, como feito pelos participantes nos esboços acima. Que exploraram traçados que demonstram momentos marcantes e mais densos ou variáveis nas músicas estão alinhados também com as propriedades visuais da representação, a participante (04) descreve que as formas que buscou utilizar são variáveis ou com diferentes cores fazendo referência "a junção dos elementos musicais que transmitem suavidade, leveza mas do nada trazem elementos como suspense, tensão, surpresa e intensidade é o que me prende a música, mesmo sem entender o que vem pela frente." Já os participantes (02) e (05), deram ênfase as sensações transmitidas pelos elementos musicais tanto da harmonia, ritmo ou batida da música, transformando suas percepções musicais em hierarquização de emoções numa forma visual. Os quais analisaram as músicas "The Climb, de Miley Cyrus" e "Bachianinha, de Paulinho Nogueira", respectivamente. E como resultados de seus esboços na figura 36, os quais relatam sobre a função das cores em relação aos valores musicais. Determinando a representação das músicas por divisões de eventos, relacionados com emoções (alegria, tristeza, amor, melancolia, calmaria), seja pelas sensações ao ouvirem determinados sons mais harmônicos ou não, as acentuações dos elementos básicos ou pelo conteúdo.

Figura 36 – Cores e emoções musicais



A participante (02) busca associar letra e a ocorrência de palavras na música, sendo representadas na forma de um gráfico de pirâmide, com apresentação de aumento de área por hierarquia, com divisões em seções horizontais. Já o participante (05) representa a ocorrência temporal de forma linear e faz referência na visualização a ondas sonoras com micro variações, acentuações ou caiimentos. Em seu relato complementar, cita sobre a valorização do violão brasileiro, por tudo ser feito neste instrumento, além da leitura da música por um contexto histórico da Música Popular Brasileira (MPB), que une a musicalidade e a alegria dos elementos e do tocar brasileiro, conectado com a música europeia e ter essa mesclagem nesta composição de Bachianinha.

Além da recorrência em gerar formas de representar dinâmicas e energias musicais, relacionando as suas intensidades com as variações da tonalidade. A participante (12) considera inclusive que a genialidade da sua música escolhida tem total relação com os aspectos da musicalidade do compositor Sergei Rachmaninoff em que considera que a maior representatividade da sua obra está nas,

"Variações de tonalidades, seria como ele vai intensificando à medida que ele vai tocando, ele pode tocar algo tão suave tão suave, util, sensível. Mas ele também vai chegar num tom forte, e a flutuação é justamente esse impulso essa compulsividade com que ele chega. Por exemplo, eu posso estar agora estar tranquila, mas um momento ou outro eu explodo. Então gosto muito desse aspecto da compulsividade ou impulso, que ele pode dizer estou agora depressivo e explicita isso, na musicalidade podendo colocar uma nota A num tom agudo e pode cair para uma nota C muito grave muito forte."(Participante 12)

Então para transformar essas informações em visualizações, utilizaram da imersão imaginária da compreensão da composição musical e trajetória da música, utilizando fones de ouvido no ato da construção do esboço. Em alguns casos, foi inevitável, que não explorassem o expressionismo possibilitado pelas cores e traçados, criando visualizações artísticas e explosivas como demonstra a figura 37.

Na construções dos esboços ao destrinchar os elementos da musicalidade para comunicá-los melhor. Trazem a necessidade de representar estas texturas como macroestruturas musicais, o elemento rítmico por exemplo são destacados pelos participantes (04), (11) o quais utilizam a repetição e variações de traçados, formas e texturas, associadas a percepção sonora da intensidade. Representando ritmos mais fortes ou mais fracos, demarcados e agrupados ou o inverso, a depender da ocorrência nos instantes da música. Sendo também recorrente a exploração da orientação linear numa determinada área do quadro musical. Já os participantes (03) e (12), sugeriram movimento das formas nos seus esboços, com a dimensão temporal, pela aplicação de animações. O (03) por ocorrências de ataques com a forma convexa irregular, que poderia ser aumentada ou diminuída, em função da visualização do ritmo e marcação temporal para seguir a dinâmica musical em relação aos eventos musicais. E o (12), propõe voltas cíclicas no decorrer da música com o agrupamento e desagrupamento das formas em uma representação que explica estes

instantes musicais de compulsividade e leveza, associados a intensidade em que a nota é tocada, se é Forte (f) mais alta, ou Fortíssimo (ff), Pianíssimo (pp) que transmite calmaria, ou Piano (p) que é silenciosa.

Figura 37 – Dinâmica Musical

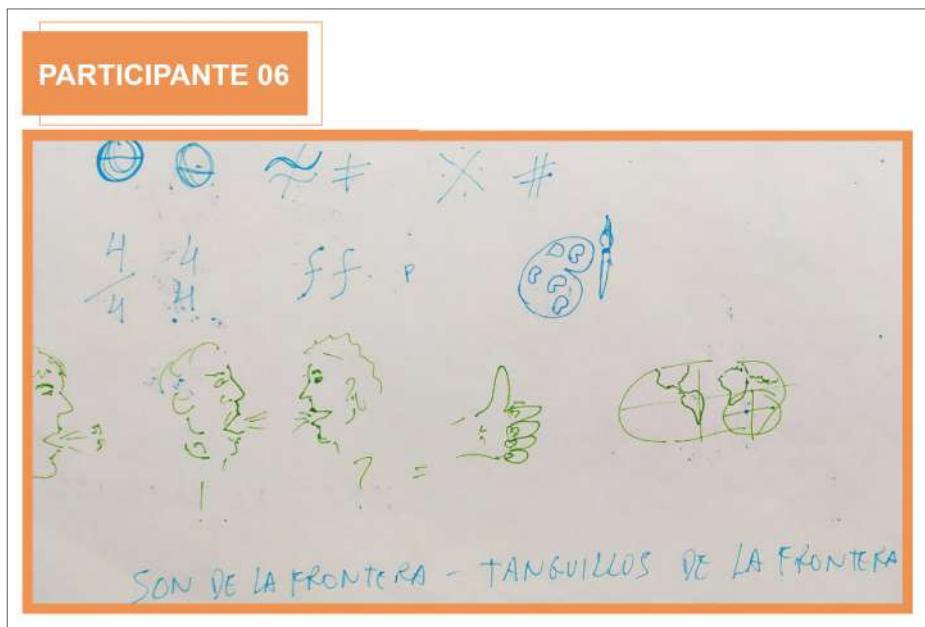


Durante o processo algumas ressalvas foram levantadas, como a dificuldade em realizar a síntese gráfica das genialidades musicais escolhidas, pela consideração que explicar visualmente este tipo de informação é complexo, principalmente para representá-la como um quadro estático. Na leitura da música "Machine Gun- Jimi Hendrix", por exemplo o participante destaca um conjuntos de informações que o chama atenção na composição, como a marcação constante do elemento rítmico, devido a produção tentar gerar sons similares de uma metralhadora, a virtuosidade do cantor em relação a velocidade de execução, e relata esta dificuldade em esboçar estas informações.

"Nesta música, envolve muita mudança de estado, é difícil de expressar isso pois não desenho muito e também acho que seja complicado descrever isso. Tem as questões sociais também, é uma obra que foi produzida na época da Guerra Civil, é como se o artista pintasse uma "Guernica", obra do pintor Pablo Picasso, com a Guitarra. Por isso explorei uma explosão de um tiro, aparecendo e desaparecendo no momento da paletada, seria uma boa forma de representar o ritmo. Mas na minha opinião, numa imagem parada é difícil, teria que ter uma animação para expressar esse efeito."(Relato - Participante 03)

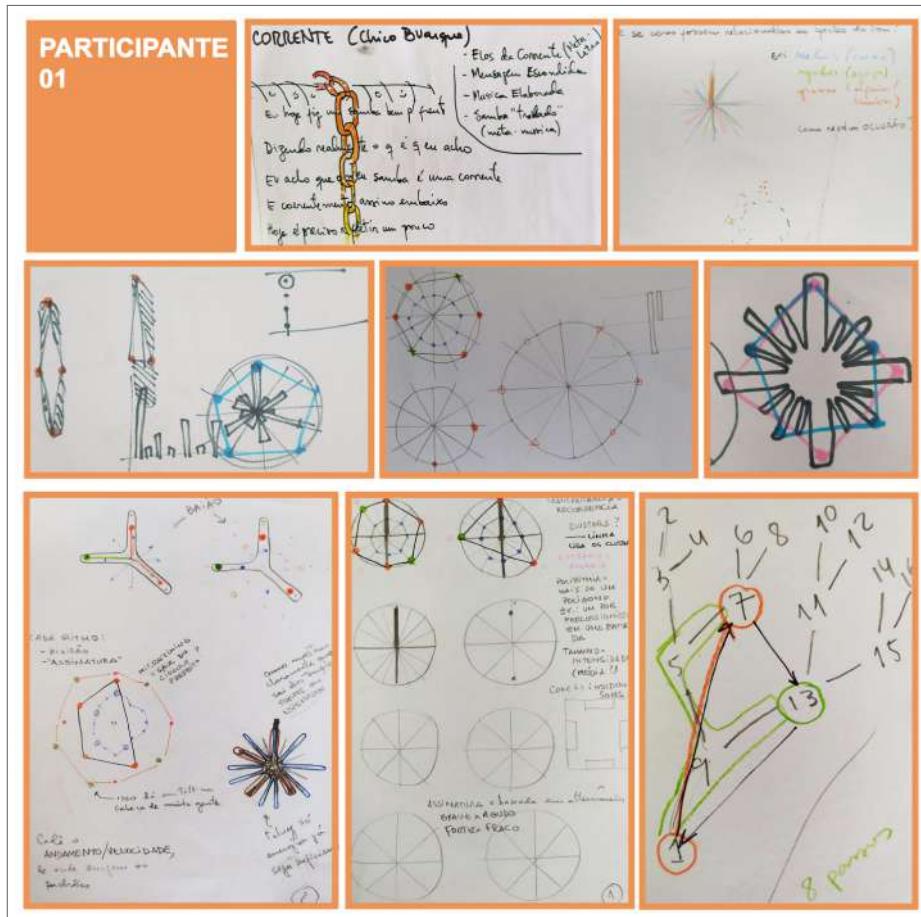
Em outras sessões os elementos musicais passaram a ser pouco percebidos no resultado do esboço, por dificuldades do participante no processo criativo, como exemplo o participante 06 que relata associar a informação musical com a visual e mesmo realizando duas sessões não conseguiu sair dos critérios de exclusão, e só associou a música a alguma ilustração ou algum fator emocional e psicológico. O que é curioso pois seu perfil é de músico profissional e ainda assim enfatizando em seu discurso sobre a importância do elemento ff em sua obra escolhida, mas ainda assim não conseguiu encontrar formas de representá-lo, mesmo com o auxílio técnico de apresentações de figuras geométricas, traçados de elementos visuais de modo geral, até mesmo as cores que poderiam lhe auxiliar na geração de contrastes para gerar visualização.

Figura 38 – Esboço Participante 06



Buscando dar ênfase a análise rítmica, o participante (01) depois rodadas de ideiação, levantou questionamentos durante discussões nas sessões, para entender suas complexidades, destrinchando alguns níveis de camadas a serem consideradas em macroestruturas. A *virtuosidade*, a qual enfatiza os aspectos criativos do artista, seja pela sua habilidade ou complexidade de execução da obra em relação aos elementos musicais, como pela quantidade e velocidade de notas, complexidade de ritmos e combinação de frases. Denota que a virtuosidade, é de caráter muito importante na valorização da música, pois leva em consideração a capacidade dos músicos de interpretação, que está muito relacionada com a expressividade, e é o que diferencia uma execução mecânica. Neste caso, no ritmo está muito atrelado a velocidade em que a quantidade de notas em relação a um determinado tempo está sendo tocado, como por exemplo bateristas super rápidos são mais valorizados. Tudo aquilo que é difícil de se fazer, considerando dimensões diferentes como acentuações, notas, sons, intensidades diferentes graves e agudos, manipulações no tempo, é valorizado no caráter de virtuosidade.

Figura 39 – Esboços Participante 01



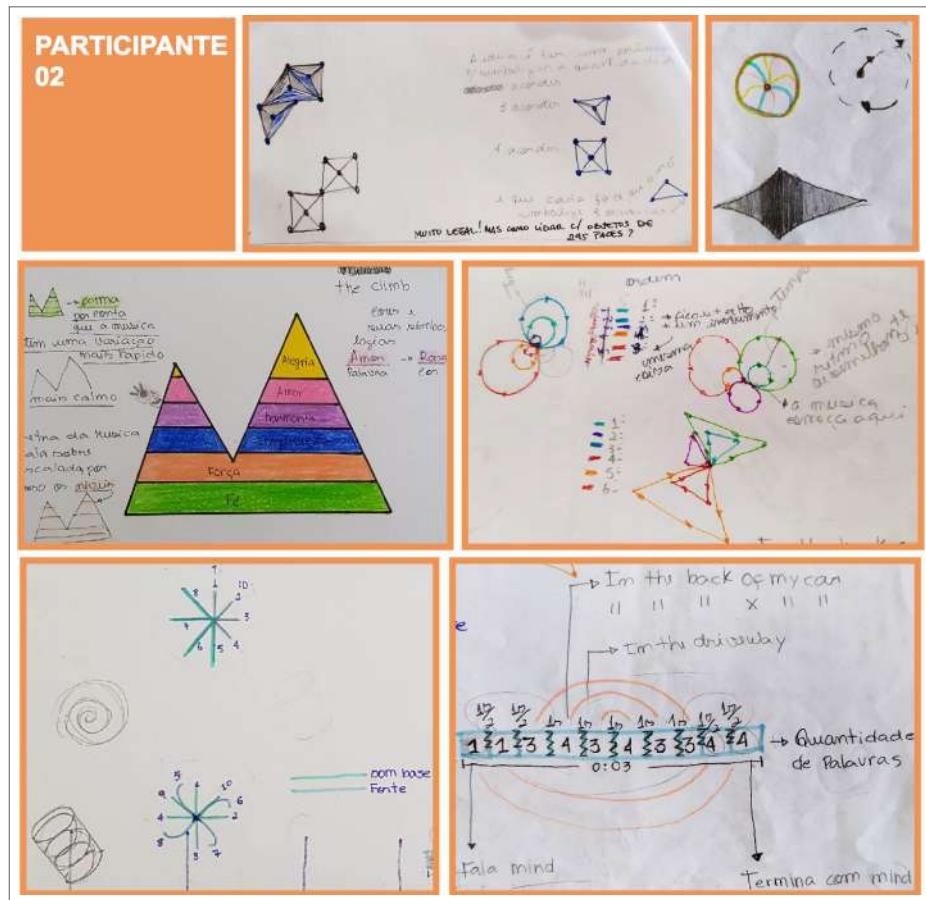
Também consegue perceber algumas características rítmicas como assimetrias, ou seja compassos alternados, que acredita ser consolidado em estilos como Salsa, Samba, Maracatu, Bossa. E descreve as suas complexidades nesses gêneros,

"Como a MPB, muito valorizada internacionalmente, a pessoa escuta e pode se perder completamente. Pois as pessoas tem dificuldade em apreender, mas ao mesmo tempo numa estrutura macro é possível que se saiba onde está na música, junto com seus acordes e elementos traz uma riqueza muito grande porque mesmo explorando tudo isso ela é muito bem aceita. Irregularidades alternando várias coisas, podendo ser usadas tanto sequencialmente quanto simultaneamente. As batucadas fazendo coisas sincronizadas, com vários instrumentos fazendo coisas diferentes." (Relato - Participante 01)

Nestes estilos destacam-se as assinaturas, como ritmo básico, definido por alternância de sons grave e agudos e a multiplicidade de ciclos, e busca entender e suas representações como identificar músicas que utilizam raros compassos e acentuações "inovadoras", pulso ou a soma de ritmos quebrados. Trazendo questionamentos que poderiam ser respondidas pelos esboços, e analisar por exemplo as diversidade de variações de ritmos, se são homogêneas ou heterogêneas, são sequenciais ou sincronizadas? Essas variações rítmicas estão só no componente percussivo? Ou também no acompanhamento, melodia? E explora seus esboços buscando esclarecer estes questionamentos.

Destacamos também a participante 02 que trouxe contribuições gráficas demonstradas na figura 40, com seu perfil da área visual e apesar dos desafios em realizar a associação as informações musicais, consegue encontrar resultados explicativos nos seus esboços com a exploração de formas poligonais e em espiral, cores, texturas sempre associando-as ao andamento da música.

Figura 40 – Esboços Participante 02



Assim concluímos que durante o desenvolvimento do experimento alguns participantes sentiram facilidade em desenvolver de imediato a ideia, outros menos experientes até mesmo na área de música relataram sobre a dificuldade em leitura de partitura, e de representar conceitos mais técnicos que não tinham domínio. E que apesar do "feeling" para tocarem algum instrumento ainda sentem dificuldades em entender alguns aspectos musicais, principalmente quando se trata de estudos em Teoria Musical. O que reafirma a necessidade de desenvolvimento de ferramentas para auxiliar a comunicação dos conceitos na área de música para torná-la mais acessível.

Mas de modo geral, ao finalizarem o experimento saíam satisfeitos com as possibilidades de pensar a música e com seus esboços. Como exemplo, o participante (11) relata "É instigante, fico condicionada a expressar isso visualmente", e concluem que estudos como estes são muito interessantes e amplamente aplicáveis em diversos universos. Estes dados qualitativos relatados pelos participantes durante as sessões, foram muito relevantes para

reconhecimento de um conjunto de elementos estruturais da música.

4.2.4 Resultados Sessões Generativas

Os resultados dos esboços gerados pelos participantes trouxeram reflexões importantes sobre as diversas possibilidades de visualizar os elementos musicais, pela extração de seus pensamentos e perspectivas musicais. Identificamos semelhanças nas criações dos esboços criaram pelos seus traçados e tendências de visualizações da música. Assim utilizamos a categorização da revisão de literatura, para elencar os esboços dos participantes segundo as suas informações musicais, estruturas visuais e categorias, segundo a tabela 5.

Participante	Informações musicais	Estruturas Visuais	Categoria
01	Ritmo, Harmonia e Letra	Formas Circulares e Poligonais	Simbólica Analítica
02	Andamento e Letra	Formas, cores e texturas	Simbólica Analítica e Animação
03	Andamento, Ritmo e Virtuosidade	Forma convexa	Animação
04	Base Instrumental	Texturas	Simbólica Analítica
05	Pontos de tensão, calmaria e vislumbramento	Ilustrativa, Orientação linear e Cores	Simbólica Analítica
06	Compasso e Virtuosidade	Ilustrativas	Psicologia Musical
07	Energia e complexidade do Ritmo	Formas cíclicas e orientação linear	Simbólica Analítica
08	Condução, Compasso eLevada musical	Formas curvas	Simbólica Analítica e Animação
09	Ritmo e Levada	Formas geométricas e Cores	Simbólica Analítica
10	Letra e Base instrumental	Formas convexas e cores	Simbólica Analítica
11	Andamento e Ritmo	Formas convexas e cores	Simbólica Analítica
12	Flutuação e Tonalidades	Formas e orientação cíclica	Simbólica Analítica
13	Melodia e tonalidade	Formas, contornos e preenchimentos	Simbólica Analítica
14	Base instrumental	Ilustrativas e cores	Simbólica Analítica e Animação
15	Base Instrumental	Formas geométricas e cores	Simbólica Analítica
16	Letra	Ilustrativas	Animação

Tabela 5 – Categorização Esboços musicais

Observamos, que 10 dos participantes realizaram o esboço focando no tipo de Vi-

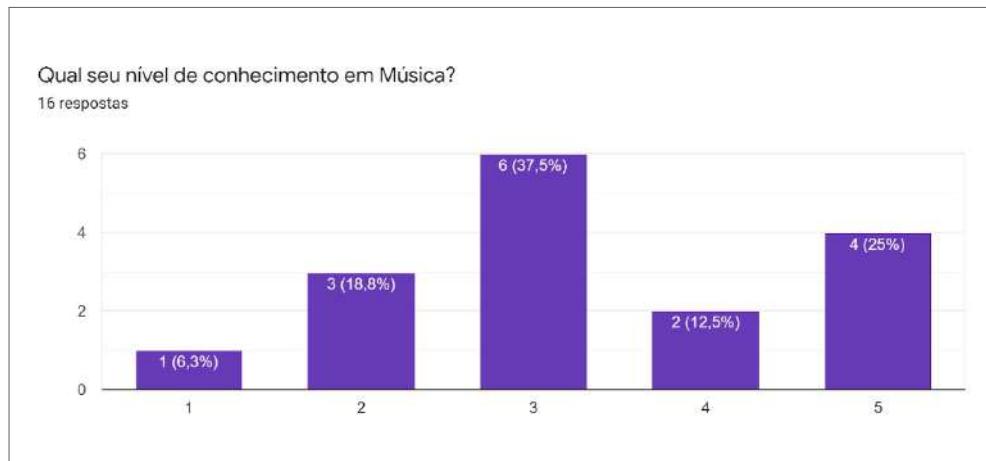
sualização Simbólica Analítica, ou seja mais direcionados em representar os elementos estruturais e buscavam comunicá-los com a visualização e suas propriedades gráficas. As animações, também foram esboçadas por 4 participantes, geralmente estavam focadas em transcrever a música em tempo real e demonstrar efeitos visuais associados a instantes e ocorrências temporais. As expressivas, que estavam mais direcionadas a uma análise psicológica e poética da obra musical, selecionadas pela genialidade de encaixes respectivos a letra da música.

É interessante enfatizar que mesmo as pessoas associando a música a um processo cílico, em suas falas, na prática quando desenhavam suas ideias, na maioria das vezes elas estruturavam o seu esboço como um quadro musical em estilo "piano roll", ou seja com orientação linear. O que é natural, pois como ressalta Wilson (2015) "apesar dos saltos da tecnologia, ainda estamos apegados à ideia de composição musical como um processo linear." Devido aos tipos de representações já existentes, o processo de transposição é automaticamente estruturado linearmente e de maneira sequencial em referência ao aspecto temporal horizontal.

Avaliamos que estas informações, tem grande poder comunicativo quando associadas a padrões visuais, e possuem diversas possibilidades de exploração e criação de vocabulários visuais para representação de informações musicais. Além de enriquecer a discussão e a necessidade de entender novas perspectivas sobre obras musicais conhecidas por outros que não pelo pesquisador, a partir disso realizamos reaproveitamento dos materiais das ideias de visualizações de um grupo para posteriormente generalizá-las e aplicar o modelo visual a diversas músicas.

Neste mesmo contexto, buscamos entender o comportamento de cada colaborador em relação ao processo de ideação então realizamos uma análise de perfil dos participantes, através de uma coleta no final da sessão com preenchimento do formulário online com informações dos colaboradores em relação as suas áreas de formação e seus conhecimentos na área de Música e Visualização de Informação, como demonstra o gráfico da figura 41 como dito prevaleciam os participantes que possuíam conhecimentos na área de música.

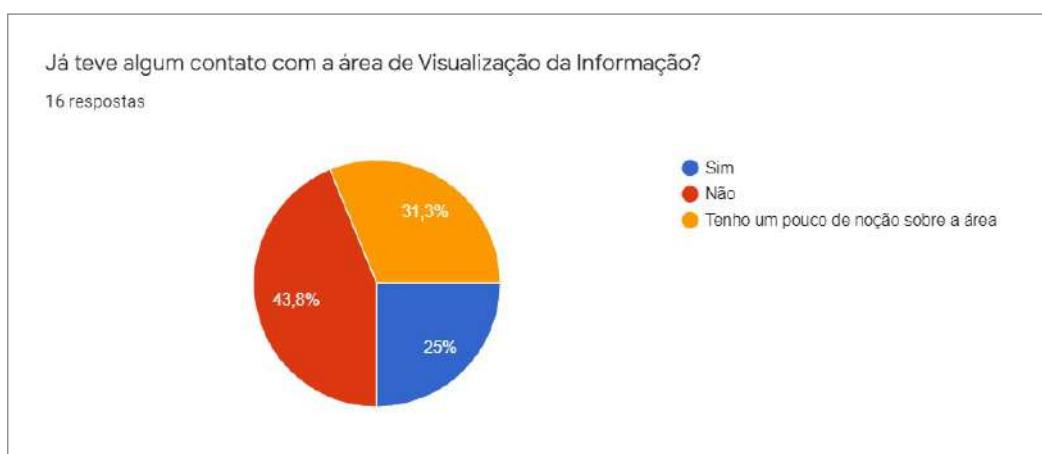
Figura 41 – Perfil na área de Música



Apenas 1 dos participantes é apenas ouvinte e apreciador de música, ou seja, com poucas noções sobre a música, no entanto é pesquisadora na área de visualização e possui a formação em Expressão Gráfica o que auxiliou no processo inverso da transposição da informação visual para musical. Por outro lado 15 deles tocam algum instrumento musical, entre esses, 11 são experimentadores ou estudantes de música, e se consideram com o nível variante de estimativa entre dois a quatro sobre seus conhecimentos em música como mostram os dados, e 4 deles são profissionais de música.

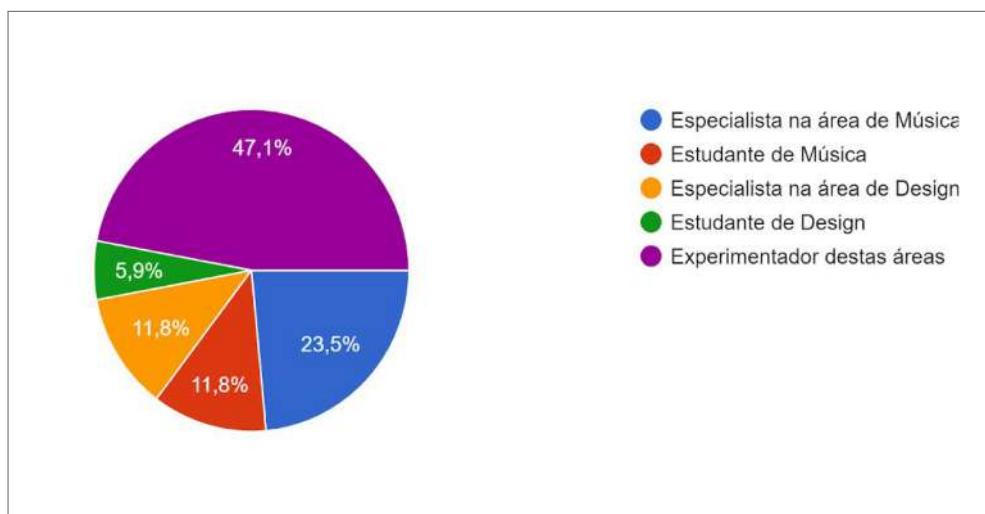
Também destacamos que o público deste workshop de co-criação é híbrido e apesar de possuírem noções de Música, os perfis também são multidisciplinares, possuindo diferentes formações: Ciência da computação, Professores de Música, Design, Expressão Gráfica, Fisioterapia, Educação e Produção Musical/Tecnologia da Informação. Resultando em um processo de criação único pois cada um trouxe *insights* e análises musicais totalmente diferentes do processo de construção de esboços visuais. Já em relação a área de Visualização de Informação a maioria não possuem conhecimentos como demonstra a figura 42 abaixo.

Figura 42 – Perfil na área de Visualização de Informação



Onde 43,8% não tinham conhecimento sobre a área, especialmente 3 dos músicos profissionais os quais nunca nem utilizaram nenhum software para visualização musical, e 31,3% já tiveram algum contato com a área, e outros 25% que posteriormente descrevem ter uma afinidade maior com área em relação a experiências na área de Ciência da Computação, seja por disciplinas cursadas durante a graduação, em trabalhos científicos, participação de palestras ou vídeos sobre o tema, até mesmo experimentos, projetos e pesquisas utilizando ferramentas e bibliotecas para visualização. O público colaborador neste momento da pesquisa de modo geral contribuíram com suas diversas visões e competências técnicas, como demonstra na figura 43 abaixo:

Figura 43 – Perfil dos colaboradores Workshop



Concluímos com toda esta análise de perfil, que o desenvolvimento das visualizações abrange experimentadores das áreas de Música, Design e Visualização de Informação. O que nos faz entender algumas dificuldades dos participantes em relação a materializar a informação enquanto objeto gráfico, seja pela dificuldade em transpor os conceitos musicais em formas e desenho ou o inverso por considerarem os conceitos musicais abstratos tendo poucas noções analíticas da música.

A documentação da sessão generativa foi realizada por registros de gravações de áudio, vídeo e anotações descritivas da observação sistemática, em relação a sua duração e ciclos descritas na tabela 4.2.4. Por todo processo construtivo desenvolvido pelos participantes através de encontros presenciais, a depender da disponibilidade dos participantes, com durações variadas entre vinte minutos e duas horas.

Participante	Quantidade e Duração de Sessões	Duração de cada sessão
01	5 sessões	2 horas
02	5 sessões	2 horas
03	3 sessões	25 minutos
04	2 sessões	30 minutos
05	1 sessão	30 minutos
06	2 sessões	30 minutos
07	2 sessões	30 minutos
08	1 sessão	60 minutos
09	1 sessão	60 minutos
10	2 sessões	30 minutos
11	1 sessão	40 minutos
12	1 sessão	2 horas
13	1 sessão	20 minutos
14	1 sessão	30 minutos
15	1 sessões	20 minutos
16	2 sessão	15 minutos

Tabela 6 – Ciclos de Sessões Generativas

Em síntese, percebemos que os esforços cognitivos são individuais e diferentes de cada participante, pela variação de duração de tempo de cada sessão. Cada análise musical, varia de acordo com diversos fatores, desde a necessidade de gerar rapidamente a visualização pelo processo de identificação dos elementos estruturantes da música, pois escolher uma música já era um desafio. Pelo processo ser considerado complexo por uns e para outros mais simples. Ou até mesmo pelo detalhamento, precisão e envolvimento do participante na associação dos aspectos visuais aos musicais, alguns se preocupavam em explicar cada elemento considerado relevante.

Além dos casos em que o experimento era aplicado repetitivamente em processos cílicos da geração e validação, para músicas diferentes. Com isto identificamos que quando o participante se adapta ao processo de extração de informação musical, escolhendo uma música e tentando explicá-la visualmente ele se habitua a desenvolver seu processo criativo e por escolha desenham outras músicas descrevendo e informando o que acham interessante. Em síntese, com a repetição das sessões principalmente as de longa duração, percebemos uma maior imersão do participante ao problema e também uma absorção mais facilitada das informações, pois passam a ter noções mais claras de como comunicar, utilizando a provocação do experimento para aguçar a criatividade. E conseguem eleger os elementos musicais mais importantes em um nível mais aprofundado, desenvolvendo o esboço, com o constante treinamento dos ouvidos em relação a transposição visual.

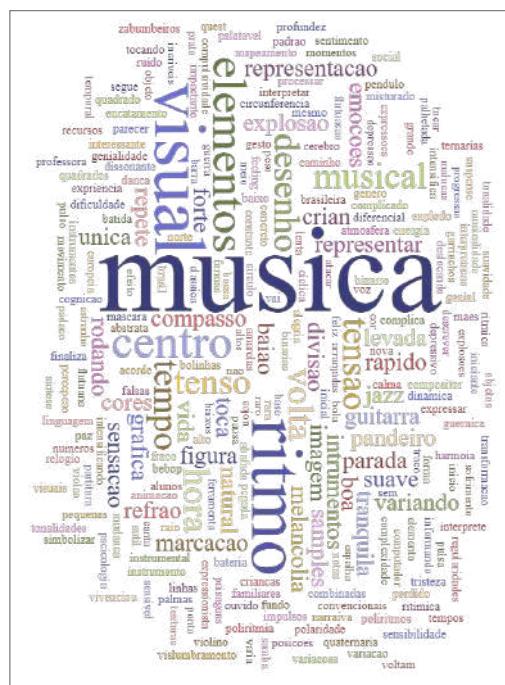
Em suma, temos estes como resultados parciais coletados dos experimentos no processo de ideação, e já conhecendo melhor os desafios de comunicar as informações musicais através de uma visualização. Foram levantadas várias inquietações e mais provocações investigativas em relação a compreensão, percepção e complexidade de representação dos

elementos musicais. Pelas dificuldades dos participantes em esboçarem suas ideias, seja pela falta de habilidades com desenho ou pela complexidade de lidar com a informação musical, com tudo isto corroboramos a necessidade de modificações e manipulações dos dados musicais através de tecnologias e recursos de software, em que explorem o desenvolvimento de novas visualizações com protótipos criativos computacionalmente.

4.2.5 Seleção do Conteúdo: Ritmo

Para sintetizar o processo de ideação e os relatos das discussões que fomentaram a imersão na problemática em como comunicar informações complexas na música. Diante de todos os dados coletados através de um conjunto de textos transcritos por gravações realizados no decorrer do estudo de campo. Mapeamos em um visualização no estilo de nuvens de palavras, as citações mais recorrentes utilizadas pelos colaboradores nas sessões generativas, pela figura 44. As principais são: música, visual, elementos, ritmo, centro, tensão, compasso, tempo, desenho. Estas são palavras chaves que definimos para nos auxiliar a filtrar e direcionar a investigação para análise rítmica da música.

Figura 44 – Nuvem de palavras experimento



Apesar da natureza de tais descrições serem certamente subjetivas, trazemos este como ponto de partida para a construção de granularidades para representação musical do ritmo, considerando suas propriedades fundamentais e estruturais. As significativas colaborações e ideações dos participantes, permitiram definir critérios na escolha do tipo da visualização com base em toda esta coleta e relatos pela percepção de estímulos visuais do pensamento musical.

Sabemos da complexidade de representação de elementos musicais, e dos outros mapeados, mas priorizamos as demandas observadas durante as discussões. Que apresentam uma maior necessidade em representar o ritmo pela escassez de trabalhos na área, então buscaremos contribuir academicamente para esta área. Pois como Dahia (2004) reforça que a geração automática do ritmo tem grande potencialidade, mas computacionalmente é pouco discutida na literatura, considerando que:

Essa tarefa é bastante difícil de modelar devido ao pouco conhecimento formal sobre essa dimensão musical: os músicos explicam suas escolhas rítmicas em alto nível, a partir de critérios abstratos como swing, por exemplo, não sendo capazes de fornecer regras objetivas que elucidem suas decisões em granularidade de notas. (DAHIA, 2004)

Assim, por uma escolha de pesquisa neste momento definimos na próxima etapa com o processo de prototipação iremos gerar visualizações para o estudo do ritmo e as suas assinaturas musicais, como uma síntese da obra musical.

Trazendo os relatos do experimento, realizamos uma síntese sobre os fatores das informações rítmicas consideradas mais relevantes dentro do escopo provocativo das genialidades. Descrevendo suas propriedades macro e microestruturais elencados na figura 45, com base na Teoria Musical e com auxílio do especialista musical como guia do processo de reflexão deste conteúdo.

Figura 45 – Síntese descrição guiada: Genialidades rítmicas

Análise de Genialidades Rítmicas		
Tipo Macroestruturas	Fatores	Microestruturas
Inovações rítmicas	Uso de Compassos inovadores	Pulsos e Acentuações raras
Assinaturas rítmicas	Ritmos assimétricos	Ritmos quebrados - irregulares Surpresas e suspenses em ciclos rítmicos. Alternância grave e agudo Gêneros Musicais
Variações rítmicas	Para trazer expressividade	Flutuações do andamento Manipulação do tempo Adiantamentos e atrasos Energia (dinâmica) Som equivalente da nota
Virtuosidade	Interpretação do músico	Quantidade e velocidade de notas Dificuldade de execução Instrumentos. Complexidade dos ritmos Letra - combinações de frases Arranjo

Sabendo que a percepção das inovações e assinaturas rítmicas, são de difícil entendimento para nossos ouvidos, consideramos importante aprofundar os estudos de modo a compreender através de formas visuais determinados microestruturas do ritmo. Como por

exemplo, as "variações rítmicas" que também trazem um fator questionável que é a expressividade, um colaborador da área musical atenta para o tratamento e identificação das problemáticas da informação rítmica, por exemplo "o que fazer com o acompanhamento quando o executante altera instantaneamente o andamento?", é importante explorar e representar esta informação, sabendo que ela possui macro estruturas totalmente relacionadas com o aspecto temporal e suas manipulações, dinâmicas. Assim ao gerarmos visualizações do ritmo buscaremos destrinchar e perceber pela perspectiva visual estas informações, validando e experimentando através do processo de prototipação.

4.3 PROTOTIPAÇÃO COMPUTACIONAL

As prototipações, nos permitem explorarmos com mais propriedade a construção das representações dos dados musicais, com suas projeções gráficas e simulações de protótipos com seus caminhos viáveis através de tecnologias diversas. E segundo Vianna et al. (2012) "tem como função auxiliar a validação das ideias geradas e, apesar de ser apresentada como uma das últimas fases do processo de Design Thinking, pode ocorrer ao longo do projeto em paralelo com a Imersão e a Ideação". Em nosso caso podemos que considerar que os esboços de visualizações também são exemplos prototipações de baixa fidelidade, que surgiram através de *insights* gerados pelo processo de ideação e nos foram úteis para estruturar a etapa de prototipação computacional.

Nesta etapa, priorizamos o estudo do ritmo para realizar testes focados no processo de automatização e na geração de uma visualização com auxílio de recursos de software, para estruturar um espaço gráfico configurável de acordo com as necessidades da representação escolhida. Onde buscaremos realizar constantes experimentos e modelagem de dados elementares do ritmo, coletados através arquivos de músicas digitais e também com auxílio de um especialista musical trazendo contribuições e tutorias auxiliando com os detalhes técnicos na transposição dessa informação com a projeção das estruturas visuais.

Para o desenvolvimento deste processo de projeção dos dados musicais em visualizações, utilizaremos os conceitos da computação gráfica que são extremamente importantes para pesquisadores e artistas que a utilizam para modelar a criatividade gráfica, experimentando os recursos de software disponíveis para explorar possibilidades de criar de visualizações. Auxiliados pelos avanços da tecnologia de Computação Gráfica, e seus recursos em termos de hardware, em poder de processamento gráfico para simular, visualizar e fazer otimizações no protótipo. Desta forma também trabalharemos nesta pesquisa, nas gerações de visualizações utilizando ferramentas gráficas e recursos de Softwares para plotarmos informações musicais a partir de conjuntos de dados.

A modulação parametrizada de gráficos em um programa como as novas interfaces gráficas deve possibilitar demonstrar em conjunto, por cálculo e algoritmos, novas escalas de percepção. Ao manipular os dados, é provável que, além do ato perceptivo (audição e visão), a programação

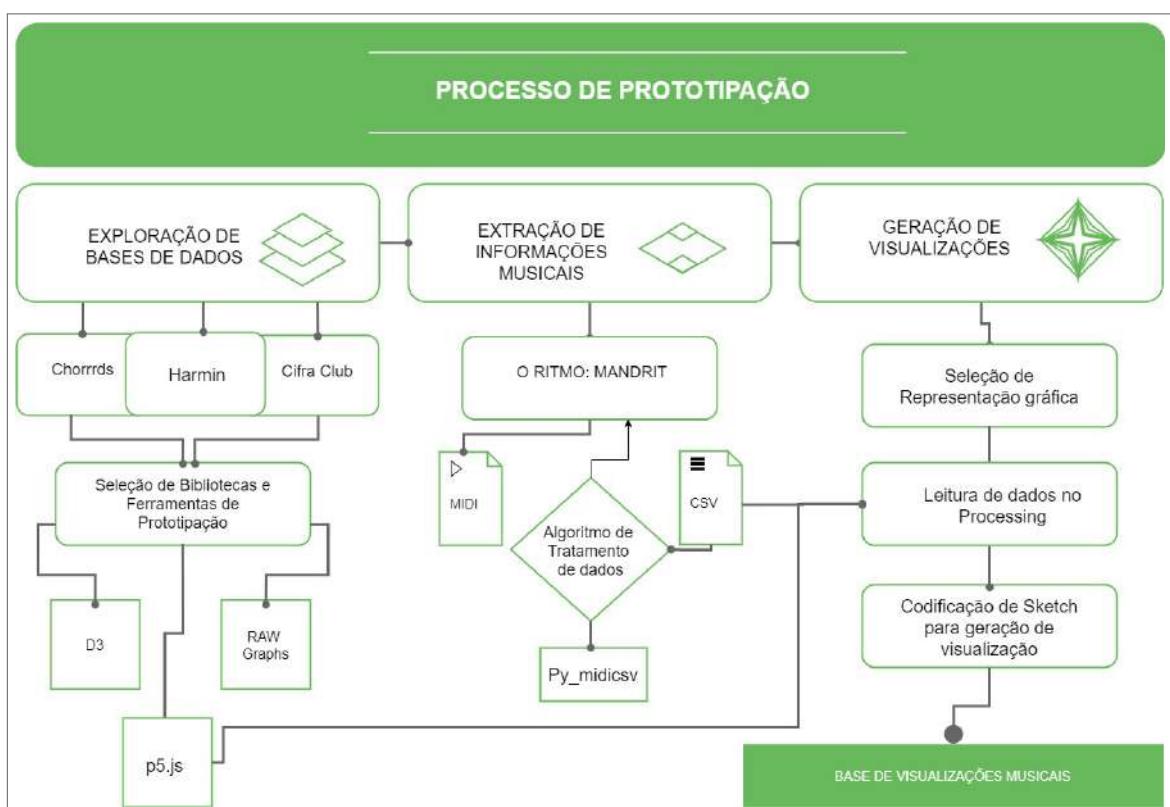
ção gráfica analise a experiência estética, a dinâmica do aprendizado e a aculturação digital.(BRAUN, Pierre, 2017)

Seguindo este princípio da modulação parametrizada, os *inputs* das representações gráficas computacionais deste trabalho serão os acontecimentos rítmicos, objetificando gerar novas formas gráficas de visualizar o ritmo representando suas assinaturas musicais. E com os resultados analisarmos as visualizações em diferentes obras musicais. Buscaremos captar informações instrumentais e realizar experimentos visuais computacionalmente. Para facilitar realização de melhorias contínuas até chegar a uma visualização comunicável que esclareça e explique complexidades musicais.

Como já levantado pelos participantes os elementos musicais são complexos de serem entendidos, a exemplo citaram as polirritmias do Maracatu e a riqueza sonora de suas frases rítmicas com a utilização de tempos e contratemplos, quebraança de regularidades. As pequenas mudanças tornam-se complexas aos nossos ouvidos, trazendo efeitos inesperados na música.

Temos como desafio nesta pesquisa o acesso aos dados rítmicos, que computacionalmente é pouco trabalhado, e consequentemente também são escassas suas ferramentas e métodos de extração de informações rítmicas. Por isso, seguimos com a proposta de analisar estas informações em diferentes obras musicais. Para realizar isto com a exploração dos recursos computacionais, precisamos definir etapas de desenvolvimento, com o *roadmap* do processo de prototipação, descrito no diagrama da figura 46.

Figura 46 – Roadmap do Processo de Prototipação



Inicialmente filtramos as possibilidades de estudos orientadas pela coleta das discussões realizadas com as pessoas e de acordo com os dados coletados passamos a uma fase mais prática através da exploração de base dados e das ferramentas já utilizadas por outros trabalhos. Percebemos que a maioria dos dados disponíveis são relacionados a harmonia como elemento de estudo principal, já fornecendo informações ou aplicando técnicas da Ciência de Dados para trabalhar seus dados brutos musicais, como as notas, os conjuntos de sequências de acordes de determinadas obras musicais. Como no *Chorrrds* que (WUNDERVALD, 2018) aplica raspagem de dados para seleção de características determinadas, dos artistas brasileiros mais populares do CifraClub e com isto cria uma base estruturada de acordes por música. Já com o *Harmin* por (CABRAL; WILLEY, 2007), pudemos realizar experimentos mais práticos e aplicá-lo mais diretamente em conjunto com a biblioteca p5.js. Então, experimentar e utilizar tais métodos já conhecidos foi fundamental para trilhar possibilidades de explorar o ritmo na próximas etapas. E como iríamos realizar integrações, incluindo a seleção de bibliotecas e ferramentas úteis, além de tê-los como base para desenvolvimento de um novo sistema para o ritmo.

Definimos que para o estudo do ritmo, utilizariamos a exploração de arquivos digitais MIDI, que segundo Machado (2001) são baseados em um protocolo de comunicação e armazenamento de sequências e eventos musicais, chamado Standard MIDI Files (SMF), o qual transmite mensagens e informações de execução musical. Além de sua facilitação na transferência e processamento de dados, por ser um formato compacto que ocupa pouca memória e pode ser reproduzido no Windows, Mac, Linux e outros sistemas. Potencializando trabalhos como este, em que optou-se por investigar suas sequências através de diversas músicas, auxiliando na integração de informações ao desenvolvimento de uma nova ferramenta de geração de visualizações gráficas musicais. Na próxima seção, partimos para exploração de ferramentas a seleção de bibliotecas, que facilitassem a criação de uma base de dados estruturada com estas informações. E por último as gerações das visualizações, foram baseadas em processos experimentais e personalização computacional dos dados utilizando recursos de Software, os quais permitiram manipular e plotar as informações rítmicas.

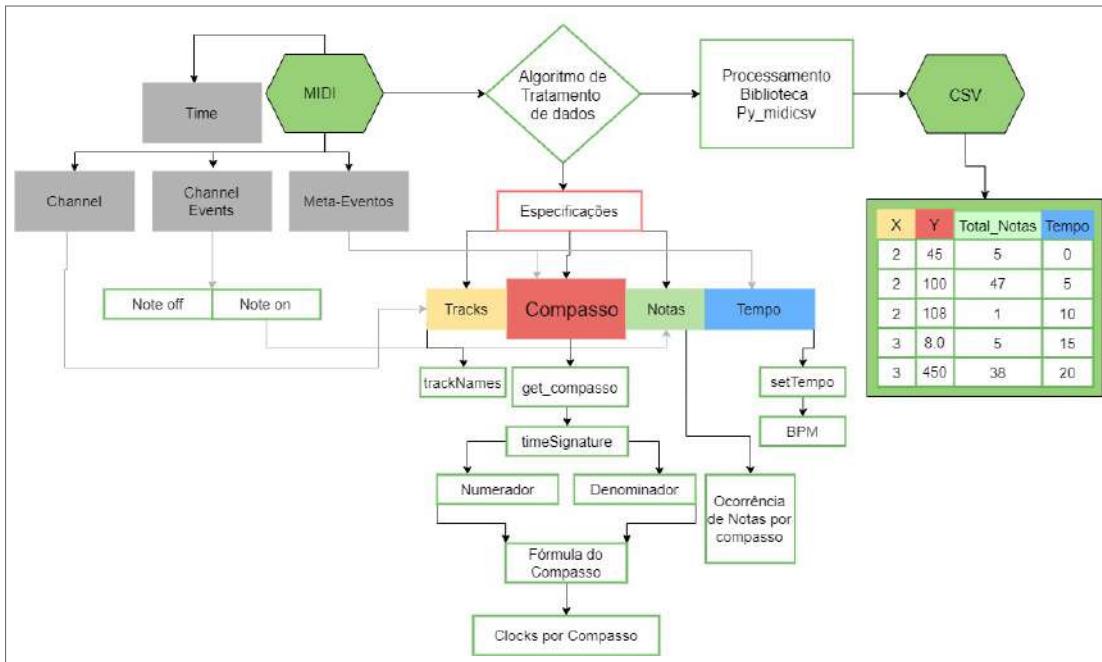
4.3.1 Extração de informações rítmicas

Buscamos analisar nesta etapa, o elemento rítmico demarcado na música e representado pela assinatura do tempo, por intervalos, movimentos regulares ou irregulares. As informações do compasso, são acessíveis através do arquivo MIDI onde utilizamos as suas instruções determinadas pelo seu formato tipo 1, em que todos os dados são separados por track(pista). A princípio, buscamos encontrar uma quantidade de arquivos que já possuíssem divisões corretamente organizadas pela base rítmica, mas não encontrandos, a solução mais viável foi criar nossa própria base com auxílio de um algoritmo para extração das características específicáveis e também aplicáveis a quaisquer arquivo MIDI

de músicas.

O processamento destes dados está demonstrado pelo fluxograma da figura 47, com arquitetura para automatização dos dados selecionados para análise do ritmo. Pela implementação do algoritmo de extração por eventos do arquivo "midi.py", descrito no Apêndice C, com o desenvolvimento do código do *back-end* através de funções matemáticas.

Figura 47 – Arquitetura para extração de dados rítmicos



Este processo é determinado pela conversão de arquivos MIDI para Comma-Separated Value (CSV), com suporte e utilização da biblioteca "Py_midicsv" desenvolvida por (WALKER, 2004), na linguagem de programação python. E que utiliza as especificações do MIDI ditadas pelo algoritmo e as transforma em uma estrutura de dados no formato de arquivo CSV, nos auxiliando a plotá-los posteriormente como visualizações gráficas.

Para melhor explicá-lo, o CSV é um formato de arquivo que permite uma melhor estruturação dos dados, com uma matriz(linhas e colunas) em que normalmente são separados ou delimitados por uma vírgula. E como complementa (RODRIGUES, 2019) é um tipo de arquivo de texto fundamental para transferência de informações entre aplicativos diferentes. Preservando todas as informações necessárias a ser carregados em programas de planilha e banco de dados ou manipulando com ferramentas de processamento de texto.

No processo de exploração e limpeza das informações rítmicas das músicas selecionadas, precisamos conceber primeiramente as propriedades que queremos informar. Então considerando por exemplo, a partitura, o elemento rítmico é assinalado apenas pela fórmula expressa em fração que determina a regularidade do pulso, e pela barra do compasso que são linhas verticais desenhadas no decorrer da pauta demarcando as divisões temporais. Outro elemento importante de ler sobre o ritmo em uma partitura é a Clave rítmica,

utilizada pelos musicistas de percussão é um padrão rítmico fundamental de grande parte da música latina, com um pulso repetido constantemente.

Para realizar o tratamento destas informações, alguns conceitos de música precisaram ser aprofundados e discutidos até selecionarmos quais propriedades exploraríamos. Tendo como objetivo gerar assinaturas do ritmo em formato de visualização, realizamos reuniões em formato de tutorias com apoio e colaboração de um músico especialista para destrinchar conceitos do ritmo. Para compreender micro estruturas do ritmo, definição de compasso, unidade de tempo, pulso, e toda sua inserção na composição ou em partes dela, que facilitam no acompanhamento da execução musical. Exemplificando e realizando análises com músicas diferentes de fórmulas de compasso ($2/4$, $3/4$, $5/4$...), até reconhecer por exemplo que a soma dos valores temporais das notas, pausas dentro de um compasso deve ser igual a duração definida pela fórmula do compasso.

Sendo assim extraímos e recuperamos do MIDI as informações referentes ao compasso, quantidade de notas e seus respectivos instrumentos (*tracks(pistas)*), todos em dados com argumentos numéricos. Elencar as três principais informações a serem extraídas: os instrumentos, o tempo rítmico que eles são executados e a quantidade de notas equivalente a ocorrência por divisões do tempo.

Realizamos esta extração usando a descrição técnica da biblioteca *Midicsv*, a qual nos deu suporte em relação a seu dicionário da linguagem do protocolo MIDI, auxiliando nas seguintes especificações do algoritmo para extração e transformação dos dados:

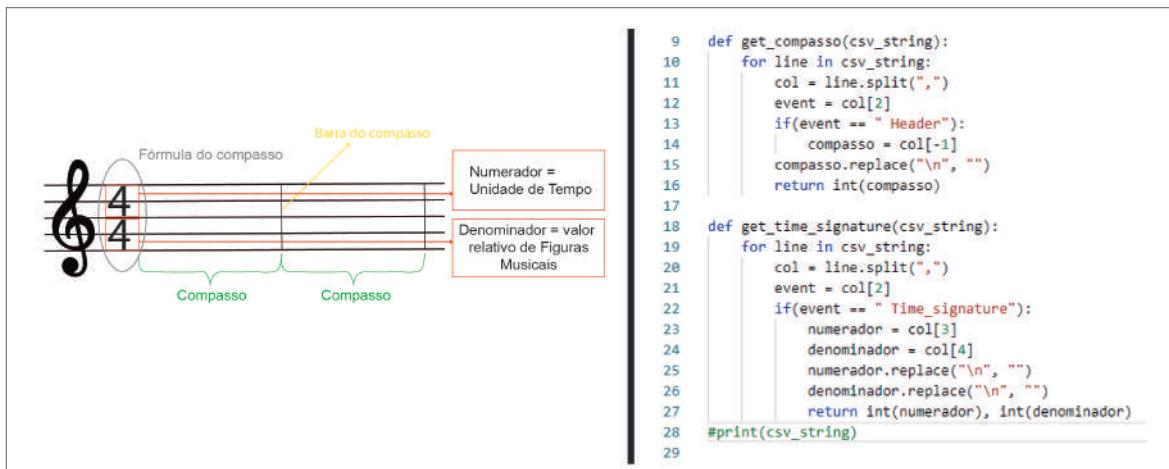
- (1) Leitura de arquivo MIDI no formato tipo 01.
- (2) Declarar dados do compasso de cada música com a função `get_compasso`.
- (3) Extrair meta-evento da assinatura do compasso.
- (4) Cálculo da divisão do compasso
- (5) Contagem da quantidade de notas "Note on" em função do tempo e de cada *tracks(pistas)*.
- (6) Gerar a matriz com três elementos X (*tracks(pistas)*), Y (Subdivisão do compasso) e `Total_de_Notas` (Quantidade de notas).

Utilizamos o formato tipo 1 do MIDI, o qual atende as especificações pois organiza separadamente os instrumentos, facilitando a realização das assinaturas rítmicas já estruturada pela delimitação do arquivo e na leitura das informações para realizar análises posteriormente. As especificações dos meta-eventos estão relacionados a assinatura do compasso e o `setTempo` com eles realizaremos a assinatura rítmica, com base na sequência temporal atribuindo as características referentes a cada instante marcados pelo ritmo da música.

Como demonstrado na figura 48. Para realizar isto, primeiramente, criamos um algoritmo de extração com essas especificidades. A fórmula de compasso, é descrita por

(WALKER, 2004) na documentação da biblioteca "py_midicsv", como a equivalência na taxa de cliques no metrônomo pelo número de notas por semínima, ou seja o número de relógios MIDI considerados na fração do compasso pelo seu numerador e denominador. Em complemento (CHRISPIM et al., 2018) ainda descreve que "O numerador (número de cima) indica o número de tempos do compasso. O denominador (número de baixo) indica em quantas partes uma semibreve deve ser dividida para obtermos uma unidade de tempo".

Figura 48 – Fórmula do compasso aplicada algoritmo de extração



Em seguida para obter a batida do compasso, aplicamos o cálculo da fórmula do compasso em relação ao tempo que está registrado pelo parâmetro *ticksPerbeat* na linha 42, pelo módulo do instante em que a nota começa a ser tocada, dividindo pelo tamanho do compasso. Tendo assim a quantidade de notas em uma determinada posição do compasso, como demonstrado na figura 49, estas características são extraídas por instrumento referentes aos seus dados de eventos do canal. É importante ressaltar que esses eventos de entrada são determinados pelos argumentos numéricos ativados do "Note on c", o qual envia variados comandos específicos de metadados do MIDI, argumentos estes que são modificadores instrumentais, e tem critério de dependência em relação a diferentes músicas tocadas.

Destacamos que realizamos a extração apenas de algumas informações do arquivos MIDI realizando especificações para os dados elementares do ritmo serem retornados, são os parâmetros de "tracks" também são chamados de pistas, a assinatura do compasso e "Notas". Ou seja, estas foram nossas variáveis fundamentais para armazenar em dados numéricos da sequência musical e representar uma síntese do ritmo de cada música. Tendo documentado na base de dados as tracks(pistas), subdivisões do compasso e a quantidade de ocorrência das notas de cada obra musical a ser analisada.

Figura 49 – Especificações por eventos do Compasso



Basicamente o que realizamos é uma verificação das informações que passam pela "janela de análise", realizando uma contagem do método *append*, que adiciona itens a uma lista de eventos que são transmitidos pela sequência MIDI.

O tempo dado pelo arquivo MIDI é atribuído pelos seus valores inteiros de comprimento variável e armazenado a cada mensagem de *deltatime* que equivale a tempo delta em tiques. Assim, esses valores são registrados em nosso algoritmo pelo incremento em formato de uma matriz relacional, ou seja, são correspondentes entre os eventos das "quantidades de notas" referente aos objetos "Note On" que são os objetos de notas assim como as "tracks(pistas)" contabilizadas no decorrer da subdivisão do tempo pelos seus compasso. Esses foram os elementos especificados pelos meta eventos das mensagens MIDI e são quem determinam a geração da assinatura do ritmo nas visualizações que iremos gerar.

Tratamos estas informações, extraíndo o comprimento da música pelo *ticksPerBeat* que é a divisão do tempo em tiques por batida ou Pulsos por semínima (PPQ), objeto dado no cabeçalho da estrutura MIDI e sua unidade de medida é em microssegundos. Assim, aplicamos o cálculo do módulo do tempo em "tiques" em relação a janela de análise, resultando na *sub_divisao_compasso* na linha 42.

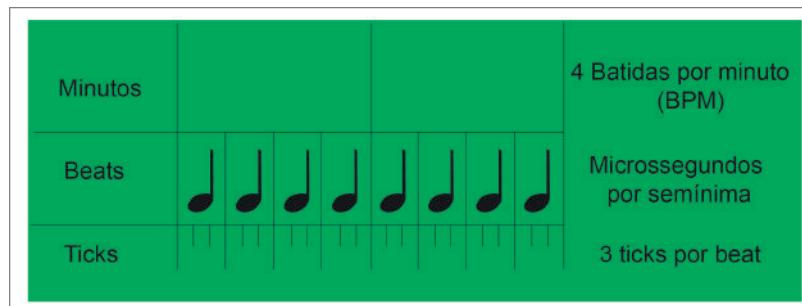
Neste sistema de extração não aplicamos especificações aos "Note on", apenas os contabilizamos para coletar a quantidade das notas em relação as divisões do tempo pelo compasso, com a função *len* do python retornamos apenas o número de itens e ocorrências desses objetos e ignoramos por exemplo quais são as notas e também suas velocidades. Então consequentemente as entidades das dinâmicas musicais como a duração, intensidade não são capturadas, pois foi necessário filtrar a quantidade de dados para plotar posteriormente e evitar sobreposições de informações quando geradas as visualizações.

Como havíamos limitado o escopo em visualizações estáticas, foram deixadas algumas experimentações para outras abordagens de pesquisa, como por exemplo para extrair e implementar a medição do BPM pelo *setTempo*, onde acabamos não gerando nenhuma mensagem na planilha nesta primeira etapa.

Mas enfatizamos a importância deste meta-evento no estudo do ritmo, afinal é ele quem determina o BPM da música além de ser uma informação que poderia nos auxiliar na criação de um metrônomo para acompanhamento da música em tempo real. No entanto,

como ressalta (MACHADO, 2001) "a complexidade é que não existe uma informação no arquivo MIDI que forneça o valor do metrônomo diretamente", além do cálculo matemático e a lógica de programação para transpor esta informação e implementar a conversão. Neste caso a complexidade de realizar esse filtro também está relacionada ao tratamento dos dados brutos do elemento temporal, e ao processo de digitalização da música como demonstra a figura 50 abaixo:

Figura 50 – Tempo e beat



A informação existente é o tempo de uma semínima em microsegundos e precisa ser convertido em BPM. Para isto é necessário extrair o meta-evento *setTempo* e aplicar a conversão *microsecondsPerBeat* que equivale a 1 microsegundo = 10^{-6} = 0,000001. Considerando que temos esta informação armazenada no *setTempo* do arquivo MIDI como exemplo da figura 51. Em que, "461538" é o valor do BPM pela unidade de ticks, e como (WALKER, 2004) descreve para obter a conversão para unidade de tempo em segundos é necessário calcular o quociente da divisão por 60.000.000, que neste caso seria:

$$461538 / 60.000.000 = 130 \text{ BPM}$$

Figura 51 – SetTempo conversão

```

31   {
32     "deltaTime": 0,
33     "type": "meta",
34     "subtype": "setTempo",
35     "microsecondsPerBeat": 461538
36   },

```

Por fim, para gerar nossas visualizações através do arquivo que extraí os dados do ritmo, obtivemos o *output* dos dados estruturados e convertidos no formato CSV, com uma matriz de coluna X (tracks(pistas)), Y (Subdivisão do compasso) e Total_de_Notas (Quantidade de notas). Com estes três elementos classificados, um conjunto de diversos arquivos de músicas já renderizados compõem a base de dados do *Mandrit*. A exemplo na figura 4.3.1, com o trecho da amostra de dados da música MIDI produzida em bateria para análise de ataques e pré moldada para criação do sistema, e que já está aplicada sua granularidade 8 e possui em todo arquivo uma amostra de 37 ocorrências por 4

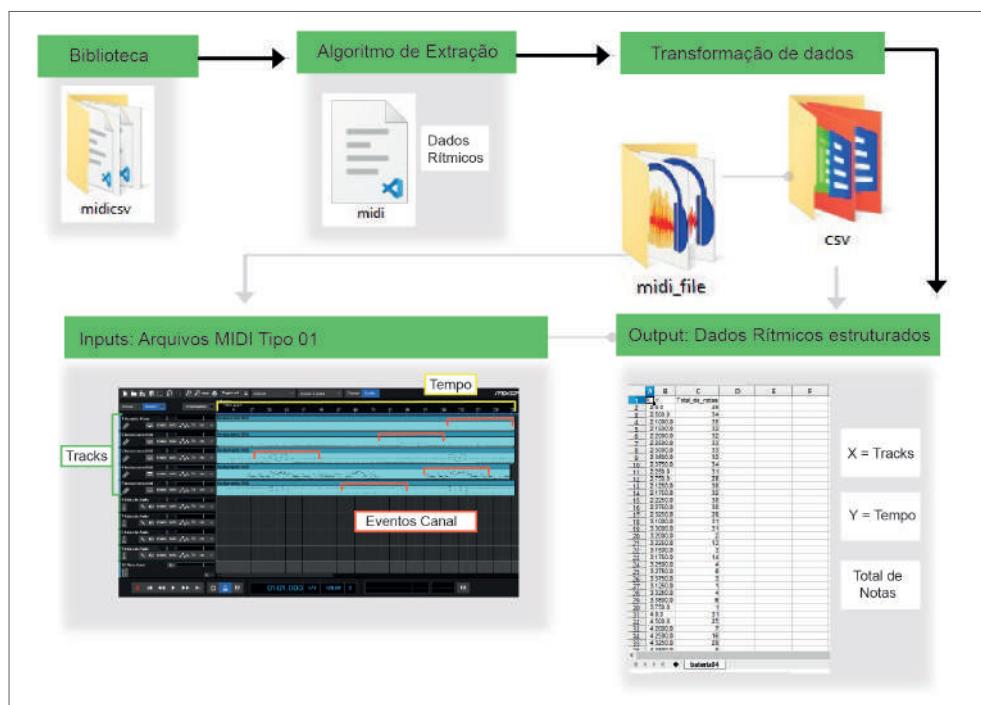
tracks(pistas) da condução, graves, agudos e floreios, e com seus respectivos valores da subdivisão do compasso e quantidade de notas.

X	Y	Total_de_notas
2	0	49
2	1	48
2	2	65
2	3	56
2	4	71
2	5	55
2	6	69
2	7	56
2	8	33

Tabela 7 – Planilha de dados Rítmicos

Com um conjunto desses arquivos estruturados por 60 músicas, criamos a base do Mandrit composta por gêneros diversos de MPB, rock, pop, jazz e sertanejo. No repositório da API a organização dos documentos encontram-se, devidamente documentados por pastas que distribuem seus arquivos MIDI e de planilha, pelas especificações das informações rítmicas citadas acima e demonstrado pelo fluxograma da figura 52 abaixo:

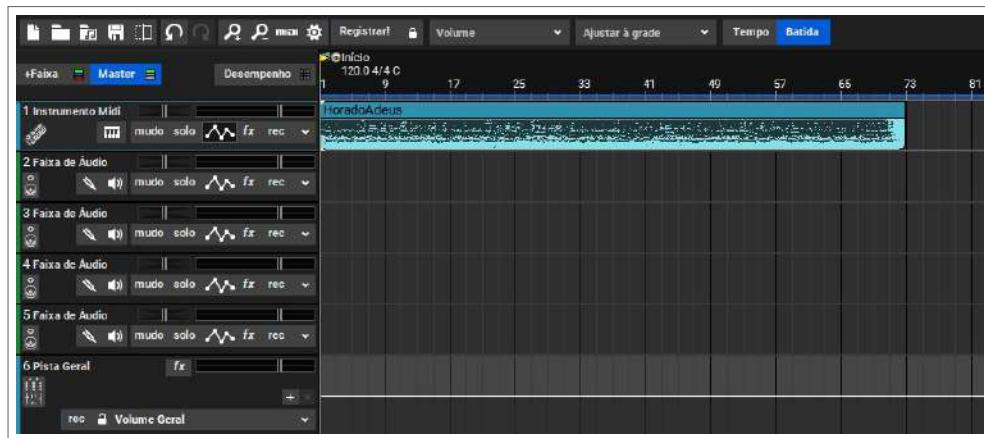
Figura 52 – Fluxo do back-end Mandrit



muitas das músicas não conseguimos acesso, por ser de fonte privada, assim também não foram plotadas pelo Mandrit.

Ainda investigamos a possibilidade de conversão do formato mp3, o mais popular na internet, mas a extração direta do áudio digital possui limitações complexas computacionalmente, e muitas vezes o processo de compressão realiza cortes inadequados de informações musicais. Ainda assim foram testados plataformas de conversão de MP3 para MIDI como a BEARAUDIO⁶ e EVANO⁷ mas não houveram sucesso, devido aos arquivos transformados resultarem como ruidosos ou que não funcionavam com a biblioteca Py_midicsv para estruturar o arquivo CSV devidamente organizado por suas tracks(pistas). Como exemplo, na figura 53 que representa a música "Hora do Adeus" de Luiz Gonzaga, em que o arquivo ao ser convertido compacta toda informação musical em apenas uma track(pista), tendo todos os eventos comprimidos dificultando a sua análise.

Figura 53 – Arquivo MP3 para MIDI



Concluímos que são diversos os desafios para criação de uma base, principalmente para extração de informações musicais. Pois apesar das especificações dos arquivos MIDI encurtar caminhos, a leitura e manipulação de seus dados dependem inteiramente de como o produtor irá descrever e organizar o arquivo pelas suas tracks(pistas). Ou seja, ainda podemos encontrar arquivos desarranjados que poluem a visualização pela desorganização dos dados.

Por isso filtramos bem os arquivos escolhendo-os e buscando por produções profissionais, facilitados pelo processo dos músicos já preocupados em organizar seus arquivos. Utilizamos como suporte a plataforma Musescore(MUSESCORE, 2021) e realizamos o trabalho de escolha e renderização dos dados em conjunto com um músico e potencial usuário do sistema a ser criado. Tendo estas amostras de dados rítmicos, pudemos passar a etapa de experimentação das propriedades visuais para gerar as visualizações musicais.

⁶ <https://www.bearaudiotool.com/>

⁷ <https://evano.com/>

4.3.2 Geração de Visualizações

Inicialmente determinamos que a visualização seria projetada por formas geométricas planas, ou seja tendo como base o conceito de representação 2D pelo plano euclidiano, buscando gerar visualizações musicais bidimensionais e estáticas. A primeira alternativa de abordagem com os dados para esta geração, foi utilizar componentes de modelos gráficos já existentes como os da ferramenta RAWGraphs (MAURI et al., 2017), uma plataforma *web open source* para criar visualizações personalizadas baseadas na biblioteca D3.js. Sua interface fora projetada, buscando facilitar a plotagem de dados, e a simplificação de caminhos entre aplicações e profissionais como designers de informação, permitindo como *input* o formato de planilhas CSV, disponibilizando modelos catalogados de gráficos em diferentes estilos, os quais mapeiam dimensões de dados a partir de variáveis transformadas em visualizações.

Sendo assim, a priori selecionamos quatro destes modelos propostos pela plataforma, demonstrados na figura 54. Os quais se adequaram melhor no experimento e aplicação das propriedades musicais e dos dados rítmicos enquanto observados pela perspectiva visual, através dos gráficos hierárquicos, distributivos, dispersivos e de agrupamento. Foram eles *Scatter Plot*, *Sunburst*, *Beeswarm Plot* e *Bar Chart*.

Figura 54 – Modelos Visuais RAWGraphs

Gráfico	Nome	Tipo	Propriedades Gráficas
	<i>Beeswarm Plot</i>	Distribuição	Linear, distribui elementos horizontalmente, evitando sobreposição e dimensão variada.
	<i>Sunburst</i>	Hierarquia Ponderada	Gráfico circular, com parâmetros de cores e dimensão escalonada cíclica.
	<i>Scatter Plot</i>	Dispersão	Coleção de círculos, variáveis na dimensão em relação aos valores dos eixos X e Y (horizontal e vertical).
	<i>Bar Chart</i>	Agrupamento	Barras retangulares, dados variáveis na vertical no eixo Y e posicionais em relação ao eixo X.

Notamos que a maioria deles, são uniformizados em formas lineares de distribuição, dispersão ou agrupamento. Utilizando as variáveis em eixos de coordenadas horizontais e

verticais categorizando as informações de maneira ordenada. Estes formatos de gráficos são muito bem aceitos, para demonstração de dados quantitativos, através do aumento ou diminuição da dimensão da área das formas.

Aplicamos tais modelos gráficos para realização de análise rítmica nas músicas, e trouxemos como resultado a música "Frevo mulher - Zé Ramalho", demonstrada na figura 55. Onde para todos personalizamos um padrão referente as características das tracks(pistas), enquanto entidades categóricas, determinando-as pela escala de suas cores as quais variam segundo a sua matiz. Ou seja, podendo exibir cores frias para valores menores e afastados do ponto de observação e cores mais quentes quando referentes a valores mais altos. Além disso com os gráficos experimentamos orientações de formas circulares e retangulares, de acordo com os modelos.

O *Bar Chart*, especialmente tem um perfil bem semelhante ao estilo já utilizado recorrentemente na área de música o *piano roll*, por facilitar na leitura das informações musicais pelo aspecto temporal ser associado ao aspecto linear e horizontal, e a ocorrência das tracks(pistas) em relação a quantidade de notas na vertical. Apenas o *Sunburst*, diferencia-se pelo seu formato de gráfico circular, por ordenar os dados pela hierarquia ponderada, ou seja, com os dados rotulados de acordo com seus pesos e representados por uma disposição concêntrica em relação ao centro do círculo.

Figura 55 – Música Frevo Mulher



São destacados os gráficos de dispersão, pela amostragem das informações musicais o *Scatter Plot* e *Beeswarm Plot*, que são um tipo de diagrama matemático usando coordenadas cartesianas, e exibem valores no eixo vertical e horizontal, ou seja, se assemelham pela geração de uma estrutura linear, e são complementados pela dimensão temporal, uma coleção de círculos, que variam de acordo com os dados da quantidade de notas, que são exibidos e distribuídos na área bidimensional. Eles diferenciam-se apenas pela personalização do tempo e das tracks(pistas), com o objetivo de experimentar orientações distintas, o *Scatter Plot* propõe uma variação vertical na disposição e continuidade da música. Já o *Beeswarm Plot* distribui os elementos horizontalmente, e com ele é possível evitar sobreposições entre as formas relativas aos dados.

Todo o processo de geração é baseado em um conjunto de experimentações dos parâmetros visuais (formas, cores, texturas) e propriedades gráficas, levando em consideração os resultados perceptivos avaliativos dos colaboradores que analisaram e trouxeram pontos de vista de melhorias. Os *feedbacks* dos elementos da visualização do *Beeswarm*, por exemplo, tiveram resultados positivos na leitura das informações musicais, como a percepção da levada na track(pista) 02, identificação do baixo e melodias principais e secundárias, além de instrumentos que se reforçam em relação a outros e que marcam o ritmo da música, perceptível nestas visualizações. Dentre algumas limitações citadas está a dificuldade de noção de andamento, pela representação ser fixa linearmente, e não demonstrar os atrasos que os músicos executam em tempo real. Então ao mesmo tempo que filtramos seus pontos positivos também buscamos experimentar outras orientações como a do componente cíclico, como alternativa para testar o acompanhamento e verificar se tornamos mais fluída a comunicação.

De modo geral, foi possível atingir resultados interessantes quanto a compreensão da informação rítmica com o RAWGraph.

Mas apesar de ser uma ferramenta acessível de plotagens, existem limitações em relação a gerações de gráficos para análises comparativas. Pois ao plotarmos um conjunto de músicas diferentes, as cores de suas tracks(pistas) eram variadas e automática, e não possuíam registros da última plotagem. Além de identificarmos que a maior lacuna é a dificuldade em alterar a visualização pois o parâmetro de preenchimento dos dados permanece fixo, de acordo com padrões de modelos gráficos já estabelecidos pela área de Visualização de Dados.

Partimos então para a etapa de prototipação e codificação de novas formas de visualizar que permitissem um construção mais personalizada de projetar visualmente as informações do ritmo.

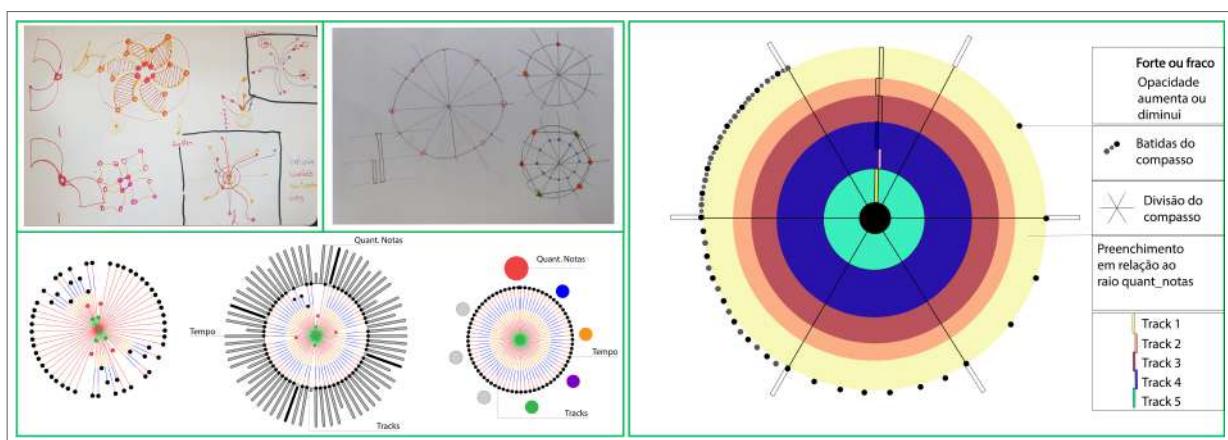
Tendo como eixo fundamental a associação da forma para modelar e representar micro estruturas do elemento rítmico. Tivemos como primeiro passo a filtragem e seleção dos esboços desenvolvidos os considerados mais viáveis, dentro do critério de visualização estática e cíclica, para realizar testes de simulações gráficas com os dados dos arquivos

MIDI, extraídos através de especificações do elemento rítmico.

4.3.3 Projetando Gráficos do Mandrit

Com a contribuição do participante 01, realizamos escolhas direcionadas utilizando seus esboços explicativos do conteúdo rítmico para realizar o desenvolvimento de assinaturas. Demonstrados na figura 56, em um processo de experimentação de possibilidades de exploração da forma enfatizando a estrutura visual cíclica, complementados pelos traçados da autora que buscam trazer valor comunicativo associando a figura gráfica das mandalas, o desenvolvimento de rotações relacionadas as marcações básicas do ritmo e para auxiliar na sua compreensão e em seu acompanhamento.

Figura 56 – Digitalização de Esboços



Para realização da representação gráfica computacional, inicialmente digitalizamos as imagens para verificar suas características gráficas e possibilidades de representá-las via código. Buscando priorizar os traçados e reduzir ao máximo de custo no processamentos de dados, explorando formas geométricas básicas assim como nos experimentos em papel. Os quais auxiliaram em gerar otimizações e diversos modelos de representações gráficas rapidamente, avaliando como utilizar o aspecto temporal, como as batidas do compasso em função da visualização cíclica.

Para realizar a transposição do esboço digital e generalizar o processo de geração das visualizações personalizadas para qualquer obra musical, selecionamos alguns esboços de visualizações realizados no papel e passamos a projetá-las através dos recursos de software como modelos gráficos digitais. Com a criação de um algoritmo específico, que permitiu associar os dados extraídos do arquivo MIDI com o gerador de visualização rítmica. Assim criamos a aplicação Mandrit que plota gráficos personalizados demonstrando visualmente informações do ritmo. Com ele pudemos realizar uma sequência de experimentações em relação a possibilidades gráficas de representar e comunicar visualmente o ritmo.

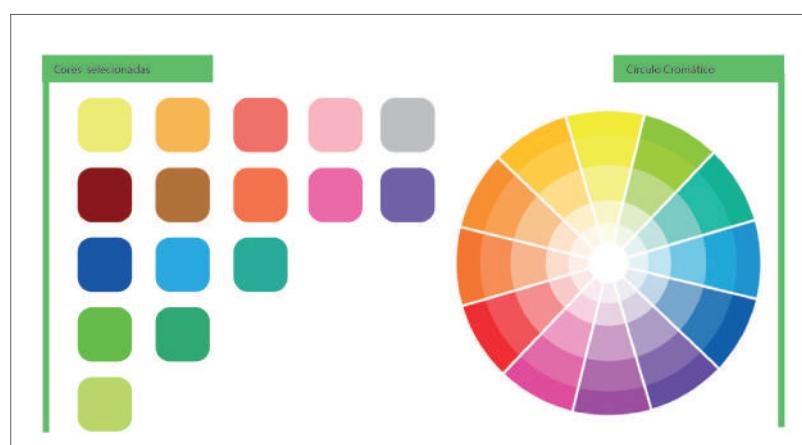
A prototipação das visualizações via código, foi realizada com o *Processing*, que segundo Borges (2018) é uma biblioteca gráfica de código aberto e um ambiente de desen-

volvimento integrado criado para comunidades de artes eletrônicas, novas mídias e design visual, com o objetivo de ensinar aos não programadores os fundamentos da programação de computadores em um contexto visual. Complementar a isto também foi utilizado o P5.js, como biblioteca interna ao processing, para utilizar a linguagem de programação javascript para aplicação de programação criativa na Web. Com a programação gráfica tivemos a possibilidade de manipular os dados, e gerar novos gráficos otimizados, auxiliados pela análise da experiência através da percepção auditiva com a observação do arquivo MIDI e a visual estética com os gráficos. Sendo um processo de construção da visualização, baseado na dinâmica do aprendizado e de aculturação digital.

O processo de experimentação das visualizações, se deu inicialmente pela definição de como plotar as variáveis multidimensionais dos três dados da matriz, em uma visualização estática. Sabendo que a primeira variável são as tracks(pistas), que é categórica e delimitada pelo formato MIDI em até no máximo 16 tracks(pistas), mas este parâmetro é modificável a depender da música. Já as outras duas variáveis são quantitativas e relacionais referentes aos valores de ocorrência no tempo e a quantidade de notas, dependentes uma da outra.

A priori, determinamos o elemento visual para representar as tracks(pistas), são as cores, que tem como papel caracterizar os tipos de entidade na visualização, em nosso caso especificamente os instrumentos. Ou seja diferenciando cada *track(pista)* por suas respectivas cores, no sentido de facilitar a separação instrumental dos eventos. Pelos fundamentos básico das cores, temos o ciclo cromático, para seleção de uma paleta específica para criação de uma visualização que auxiliasse na comunicação das características musicais e consequentemente em seu processo cognitivo de percepção para análise musical.

Figura 57 – Processo de Definição das Cores



O processamento dos dados inicia-se pela organização da representação através da codificação, aplicando no algoritmo de geração de visualizações descrito por completo no Apêndice D. Para integrá-lo a respectiva geração da visualização utilizamos as funções básicas do processing. O carregamento dos dados das músicas pela *function preload*, onde é chamada matriz do arquivo CSV gerado pelo algoritmo de extração de informação

rítmica, e com seus volumes de amostras os transformamos em inputs para gerar as representações gráficas. Na criação do protótipo visual, acontece toda execução do sistema com as *function setup* e *function draw*.

Com o objetivo de ter a assinatura rítmica da música realizamos a experimentação de representações, mas de preferência enfatizando os estilos de visualização polar. Conceituada pela parametrização de coordenadas polares e pela transformação geométrica, com ela representamos frações dos tempos musicais demarcados no plano bidimensional delimitado por uma área circular. Aplicando no algoritmo de geração da visualização rotações e translações dos objetos informacionais de acordo com os dados da planilha. Tudo isto facilitado pela implementação de funções matemáticas, como a *Math.PI* da linguagem de programação javascript que nos permite calcular a razão entre a circunferência de um círculo. Ao utilizá-la na figura 58 pela criação da "*function drawCircles*", obtivemos as medidas angulares, para realizar a rotação, por um cálculo básico de argumentos que a função recebe como entrada os elementos *i*, *tamanho*, relativos a variáveis que guardam os valores respectivos aos dados da planilha de cada música gerando a visualização.

Figura 58 – Função executável do esboço cíclico

```
//////////CIRCLE SEQUÊNCIA ÂNGULAR (EM FUNÇÃO DO CICLO TEMPORAL POLAR)//////////
function drawCircle(angle, i, radius,circleRadius){
    xCircle = cos(angle*i) * radius;
    yCircle = sin(angle*i) * radius;

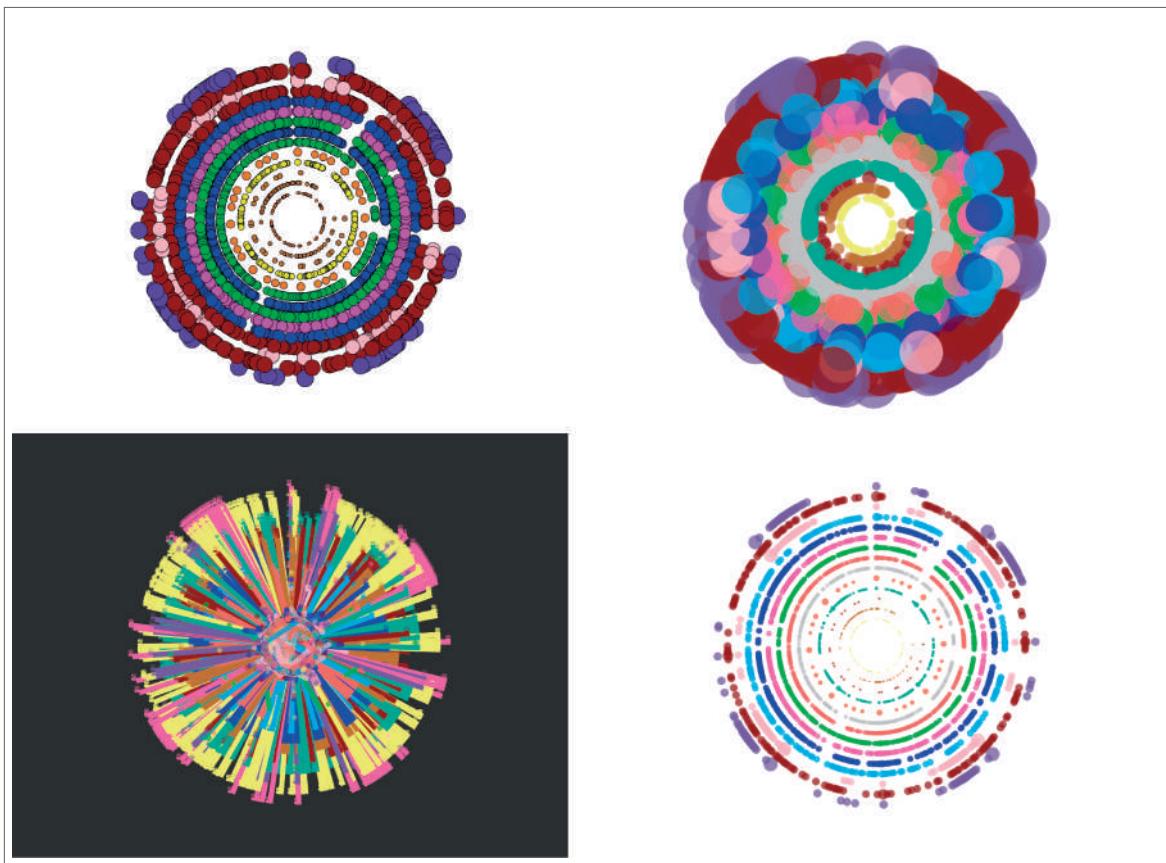
    ||| ellipse(xCircle, yCircle, circleRadius*2, circleRadius*2);
}

//////////CIRCLE EM FUNÇÃO DA QUANTIDADE//////////
function drawCircles(circles, radius, i, tamanho){
    angle = Math.PI*2 / circles;
    circleRadius = sin(angle/2) * radius *tamanho;
    ellipseMode(CENTER);

    //Reitera o draw também em função do tempo//
    drawCircle(angle, i, radius,circleRadius);
}
```

Com os dados pré processados, prontos a serem plotados de acordo com este parâmetro de rotação. Iniciamos os testes de prototipagem em relação ao resultado gráfico desejado. Realizando diversos experimentos gráficos como demonstrado na figura 59, em relação a modificações nas formas geométricas, alterações de proporções, translações e escalonamento todos em função do posicionamento bidimensional dos dados. Testando inclusive propriedades de contorno, espessura de traçados, até aplicação e seleção da proporção ideal.

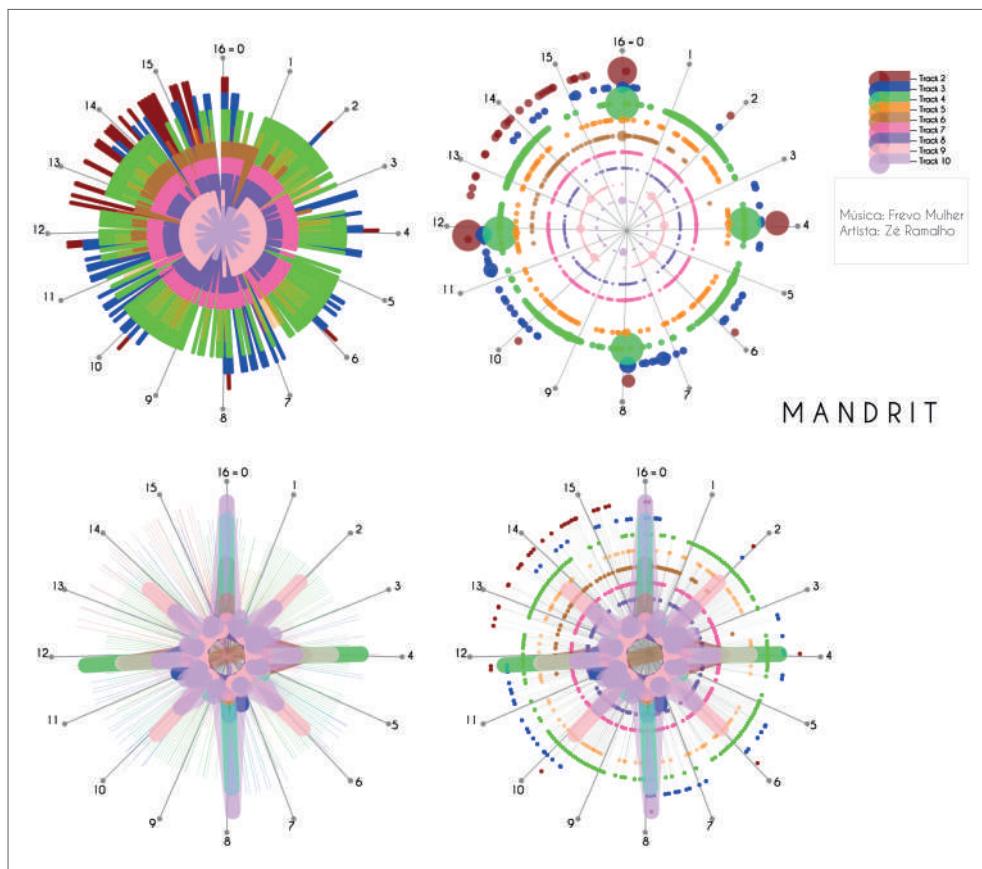
Figura 59 – Experimentos Gráficos



Nos casos acima, logo percebemos que os eventos em relação a área polar precisavam ser melhor dispostos, tendo em vista a redução da poluição gráfica. Neste processo de prototipação, demonstramos quão importante é ter domínio dos recursos de software para desenvolver a ideia de visualização, com testes práticos, podendo realizar modificações pontuais, auxiliando por exemplo na definição de valores padrões para generalizar as visualizações além de verificar as propriedades gráficas possíveis de serem projetadas.

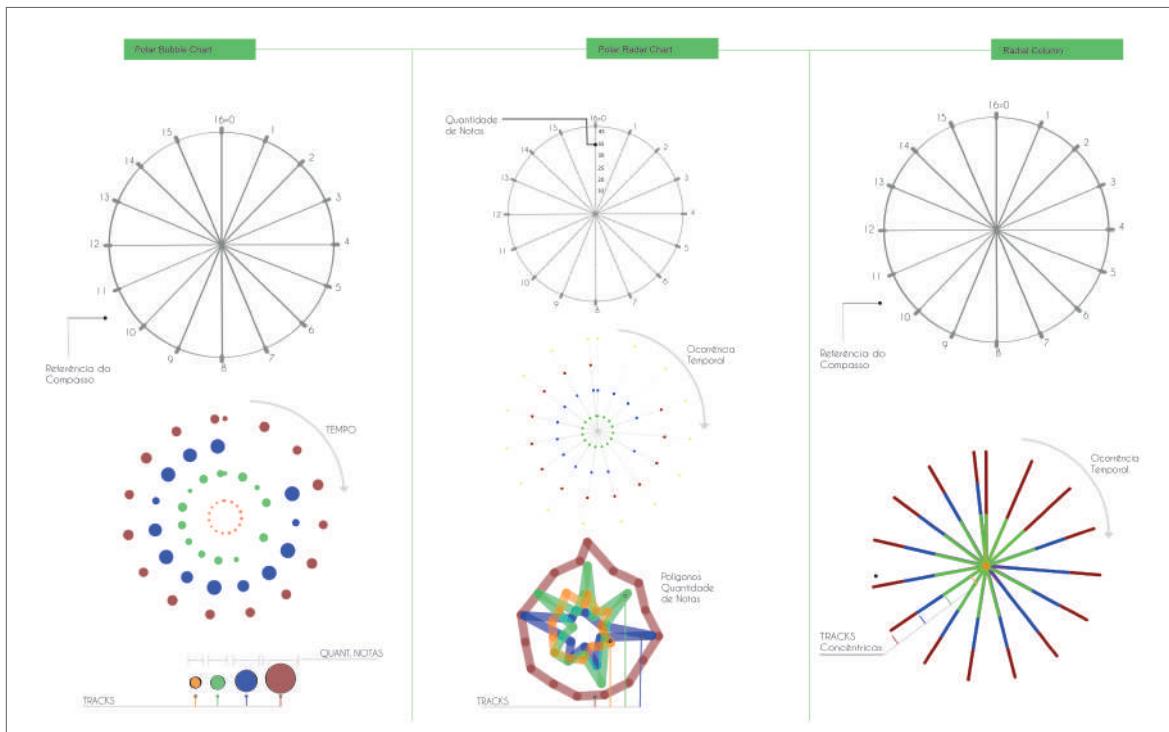
Para comunicar numa linguagem mais técnica musical, a informação do ritmo em si, buscamos sempre associá-lo ao resultado visual mais intuitivo e compreensível, valorizando a assinatura rítmica. Para isto foi necessário aplicar uma função de ordenação e de comparação de valores onde são verificados, pelo método *sort* do java e complementado pela *function compare*, que organizam a coleção de tracks(pistas) pelos seus dados da planilha. Onde acessamos a coluna dos seus metadados, especificamente as ocorrências das notas e seus valores são hierarquizados na visualização.

Figura 60 – Experimentos gráficos



Após modelagens e remodelagens do processamento visual, selecionamos alguns valores parametrizado obtendo como resultado três tipos de visualizações do Mandrit, aqui nomeados como *Polar Bubble Chart*, *Polar Radar chart* e *Radial Column*. Demonstrados pelos gráficos da figura 61, projetados pelos elementos dispostos numa área angular em função da sequência temporal da música que juntos permitem demonstrar e caracterizar aspectos comparativos entre as diferentes músicas e auxiliando na identificação de suas individualidades em relação aos aspectos rítmicos em função das tracks(pistas), subdivisões do compasso e as quantidades de notas.

Figura 61 – Gráficos Polares MandRit

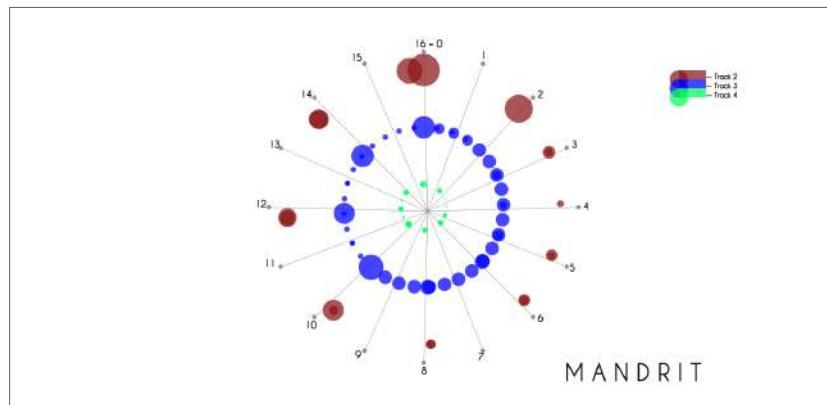


Nesta projeção por camadas são representadas cada propriedade dos gráficos, em todos eles utilizamos a referência do compasso representada por uma grade em escala de cinza que sempre fica ao fundo da representação. Esta grade é inicialmente subdividida na área polar em 16 tempos, utilizando as subdivisões determinadas por (TOUSSAINT, 2013) com sua representação poligonal do ritmo.

Esta referência do compasso tem como função fazer uma metáfora ao relógio, a fim de ser um guia do andamento temporal com suas ocorrências angulares do ponteiro. As tracks(pistas), como já dito são igualmente representadas pelas suas respectivas cores, mantendo seu padrão nos diferentes gráficos para uma mesma música. A quantidade de eventos são registradas em um camada acima e nesta projeção que diferenciam-se os gráficos, pois cada tem sua particularidade visual devido a maneira que experimentamos desenhar, escalonar e experimentar formas de visualizar e comunicar melhor as informações das quantidade de notas em função das subdivisões do compasso. Sejam com demarcações circulares, contornos poligonais ou demarcações por segmentos de tracks(pistas), todos tendo o tempo na orientação horária.

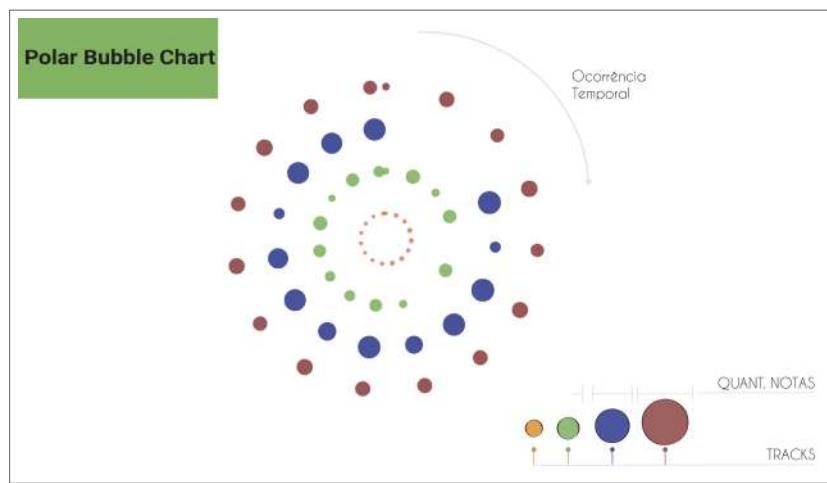
O *Polar Bubble Chart*, agrupa os dados da quantidade de notas e a ocorrência do tempo em relação a cada subdivisão do compasso, pela representação a forma geométrica de círculos, que variam de área de acordo com seus valores da matriz rítmica. Cada track(pista) é representada por um conjunto de círculos projetados no comprimento do ciclo temporal. Como por exemplo na música "Baião" da figura 62.

Figura 62 – Polar Bubble Chart: Baião



A estrutura visual do Polar Bubble Chart é simples com aplicação de apenas uma forma, as bolhas, ou círculos que são preenchidos de acordo com a cor da sua track(pista). Aplicamos nele uma proporção escalar para não ocorrer a sobreposição e para valorizar as variações dos aumentos ou diminuições das quantidades de notas no decorrer do tempo, como demonstra a figura 63. Assim, as tracks(pistas) são projetadas de maneira equidistantes, mantendo um distanciamento espacial de modo a hierarquizar e priorizar os valores maiores. Mantendo a personalização da visualização cíclica com a ocorrência temporal no sentido horário e pela paleta de cores pré definida anteriormente.

Figura 63 – Estrutura visual Bubble Chart

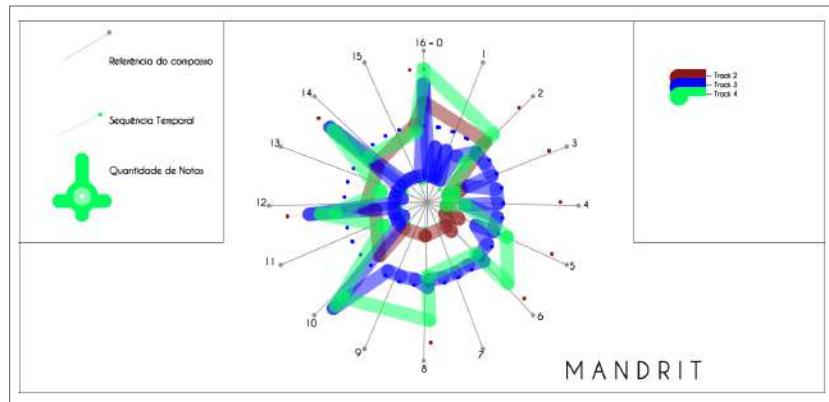


Este tipo de gráfico, foi resultado de uma adaptação da visualização do gráfico *Beswarm* no entanto aplicando um fator cílico, o que tornou a informação rítmica mais comunicativa sendo possível observar mais intuitivamente o conteúdo musical. Em que os colaboradores perceberam a equivalência gráfica de fácil percepção relacionada ao ritmo da música, identificando seus acontecimentos, a quantidade mínima de tracks(pistas) também auxiliara bastante na leitura dos ritmos constantes que são considerados bem demarcadas.

Já com o *Polar Radar Chart*, é possível visualizar a mesma música na figura 64, no entanto representada por contornos de polígonos irregulares. Que representam a quantidade

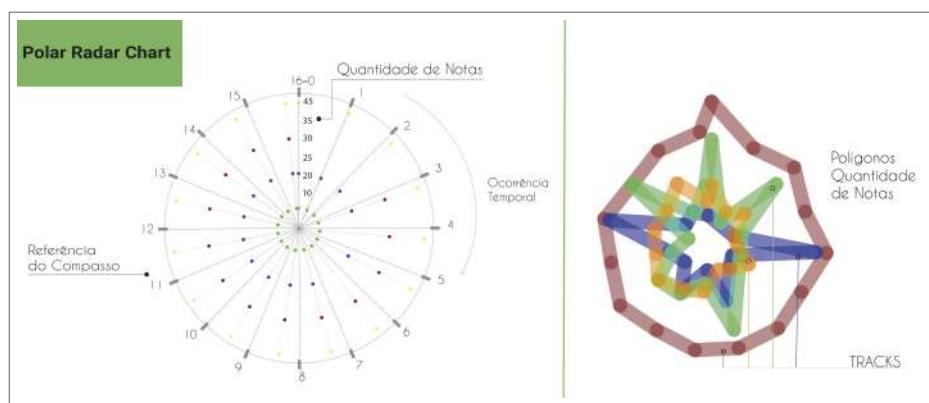
de notas variando em relação ao centro dos eixos do ciclo temporal pelas suas rotações angulares, também como uma metáfora da representação do ponteiro de um relógio. Em que o deslocamento dos tempos do compasso geram a figura resultante das acentuações rítmicas na visualização, referente ao quanto pode ser longa ou curta a ocorrência das notas pelo andamento no ciclo musical.

Figura 64 – Polar Radar Chart: Baião



Para facilitar a leitura deste gráfico que é mais complexo, trazemos uma vista explodida separando seus elementos, para facilitar a explicação visual desde modelo de visualização. Como demonstra a figura 65 em um outro exemplo de música produzida pelo especialista musical especificamente para realizarmos determinados testes na projeção gráfica.

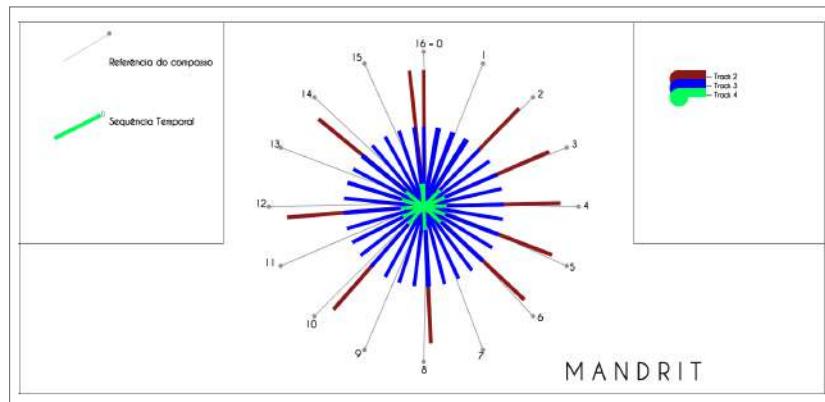
Figura 65 – Estrutura Visual Radar Chart



Nela reunimos as micro estruturas do ritmo projetando-as em duas diferentes formas gráficas, os eixos que estão ligados a pontos coloridos de acordo com cada track(pista), eles representam a ocorrência temporal. E os polígonos formados om suas arestas irregulares em decorrência da variação dos valores da quantidade de notas em relação ao raio da circunferência. Percebemos com este modelo, que a geração e formação dos polígonos são bem mais marcantes e com leituras claras da visualização musical quando a produção musical possui poucas tracks(pistas), acima de 6 a leitura torna-se caótica, devido ao acúmulo de informações.

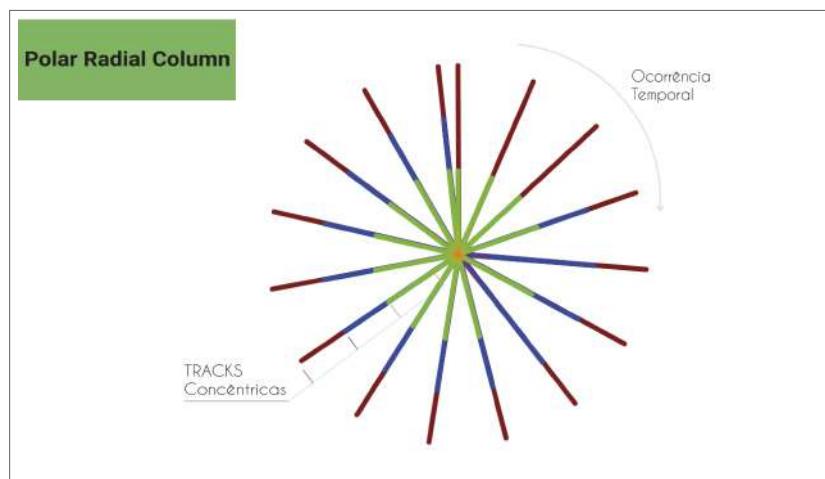
Buscando compreender melhor o comportamento dos dados temporais, separando-os isoladamente, geramos a visualização alternativa com o tipo do gráfico *Radial Column* da figura 66. Nos permitindo visualizar apenas as sequências temporais em relação as tracks(pistas), e plotar por segmentos de retas como um rastro temporal em relação ao centro do eixo polar, movendo-se em rotações angulares explorando toda área determinada pela visualização cíclica. Com ele foi possível trazer uma limpeza visual do dado temporal, pois os dados se mantiveram agrupados, sendo mais visíveis seus intervalos e silêncios.

Figura 66 – Radial Column: Baião



É importante reforçar a descrição da estrutura visual do gráfico Radial Column dado pela construção da projeção visual determinada apenas pelo registro dos dados temporais de cada música. Onde as tracks(pistas) são organizadas de forma concêntrica, ou seja estão alinhadas por um centro em comum como demonstramos na figura 67, e respeitando o ciclo temporal com ocorrência no sentido horário.

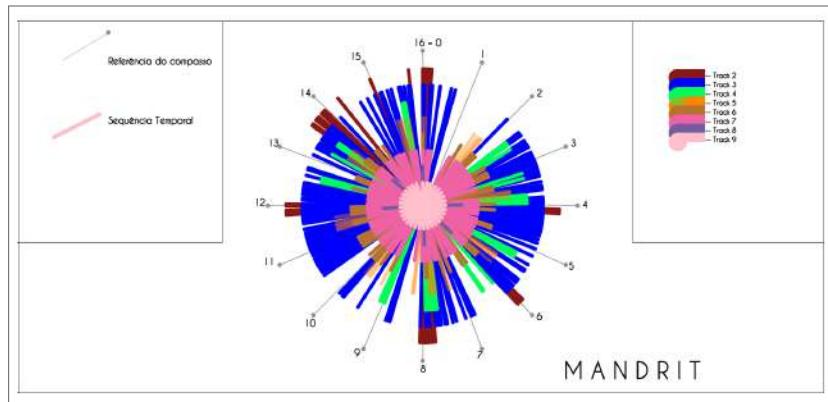
Figura 67 – Estrutura Visual Radial Collumn



Destacamos que dependendo da obra musical também algumas impressões de assinaturas musicais também podiam ser interferidas pelo grande acúmulo de ocorrências dos seus valores. Durante todo o processo de geração das visualizações, música por música, muitos foram os desafios na transformações destes dados rítmicos para torná-los comunicáveis.

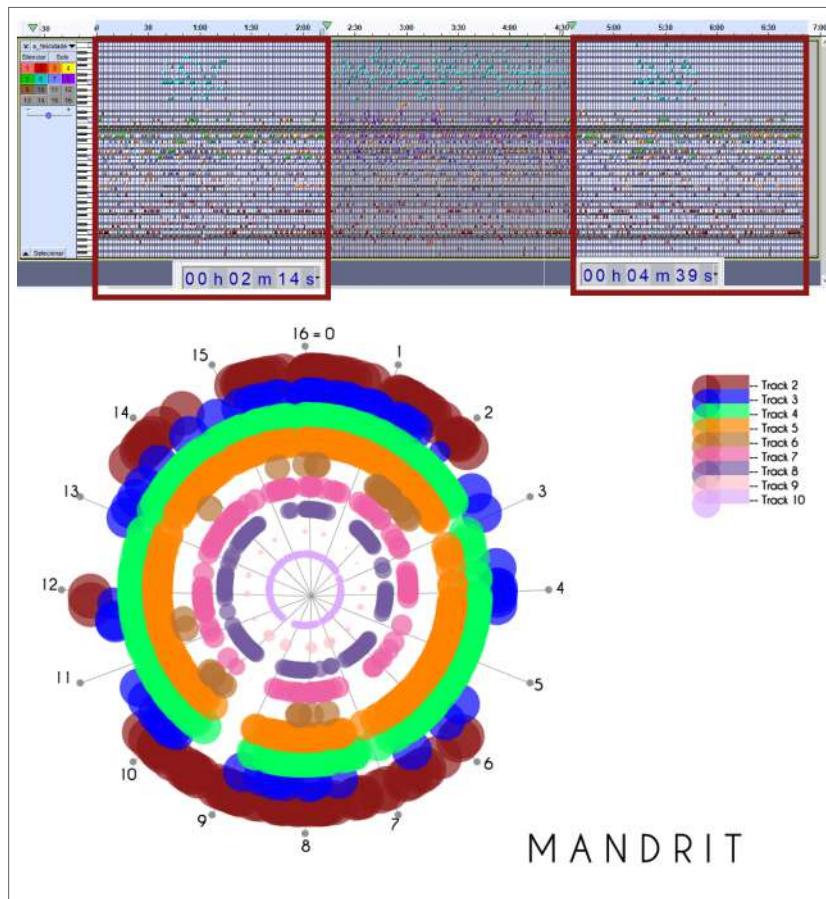
Por exemplo, no mesmo modelo de gráfico *radial column* com a música "Anunciação-Alceu Valença" na figura 68 devido a produção do arquivo possuir mais instrumentos a visualização torna-se um mais complexa de ser compreendida pela sobreposição dos instrumentos.

Figura 68 – Radial Column: Anunciação - Alceu Valença



Uma série de sessões foram realizadas com o especialista da área de música, para colaborar com sua percepção sonora auxiliando durante as gerações das visualizações descrevendo os seus elementos musicais. Identificando quais instrumentos presentes na obra musical, pois alguns arquivos não eram devidamente nomeados de acordo com suas tracks(pistas), como na música "A Felicidade - Toquinho" demonstrada na figura 69.

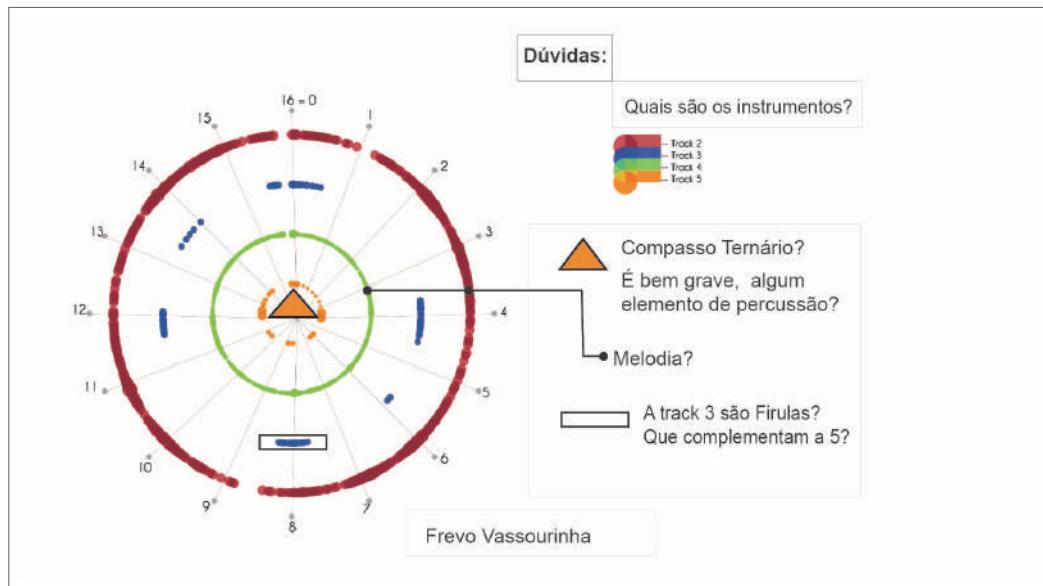
Figura 69 – A Felicidade - Toquinho



Apesar de esteticamente o resultado gráfico ter sido bem interessante, identificamos que o arquivo MIDI era uma proposta de produção no estilo da Bossa nova, pois o produtor reuniu trechos da música "A Felicidade" em sua parte inicial e final em junção com aleatoriedades do estilo bossa, o que resultou em um arquivo de 06 minutos e 53 segundos, com uma complexa e acumulativa quantidade de dados musicais. Por isso notoriamente a visualização plotada não traz a assinatura do ritmo demarcada corretamente, e também fica sem referência dos seus devidos instrumentos na legenda o que limita a leitura e a comunicação do ritmo.

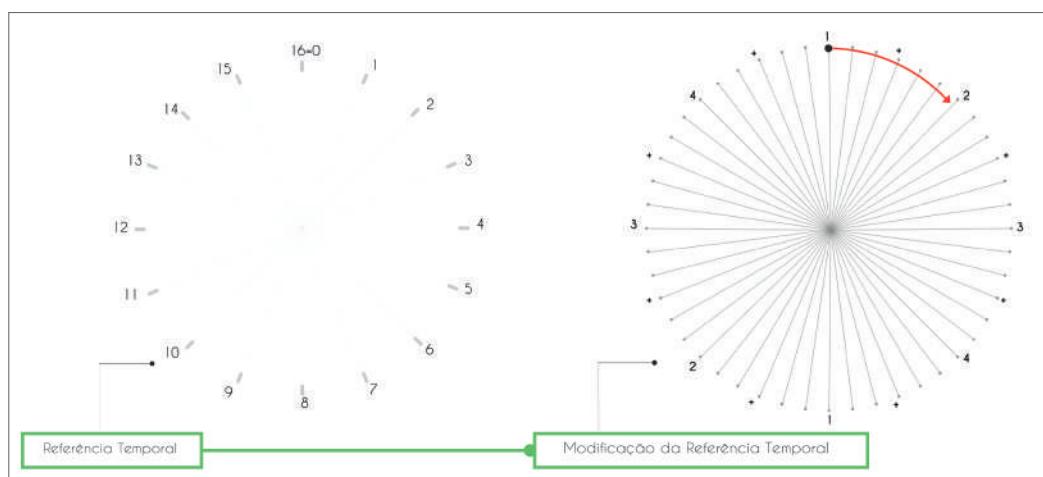
Sendo assim, esse processo constante de coleta e registros de *feedbacks*, foram fundamentais em toda construção para uma boa seleção das representações. Além das sessões presenciais trocas de informações também foram realizadas remotamente reuniões online, mensagens por chats, apresentações de slides sobre evoluções das visualizações e compartilhamento dos experimentos via imagens e vídeos buscando ter validações instantâneas dos resultados plotados. Surgiram questionamentos e algumas dúvidas também foram levantadas, e anotadas pela autora como mostramos na figura 70, em relação aos estudos da ritmo e suas conexões com as estruturas visuais, buscando sempre validar a informação a ser plotada para melhorar a comunicação nos gráficos.

Figura 70 – Questionamentos para otimização



Dessa modo conseguimos ir aplicando otimizações mais técnicas nas visualizações, observamos a necessidade de criação de legendas e desenvolvimento de tutoriais que auxiliasssem na descrição da informação das assinaturas rítmicas. Além disso, alguns elementos da visualização precisaram ir sendo melhorados, para que o acompanhamento do ritmo fosse mais intuitivo de acordo com a lógica de contagens. Oferecendo nas visualizações uma linguagem mais aproximada ao contexto dos músicos, passamos então a subdividir a referência do compasso não mais nas 16 partes da circunferência, e sim em tempos rítmicos de 1, 2, 3, 4, espaçados por distâncias proporcionais ao compasso de cada música. Os experimentos de Hein (2013) e Toussaint (2013) foram fundamentais para este estudo da visualização cíclica e esse fracionamento.

Figura 71 – Referência do Compasso

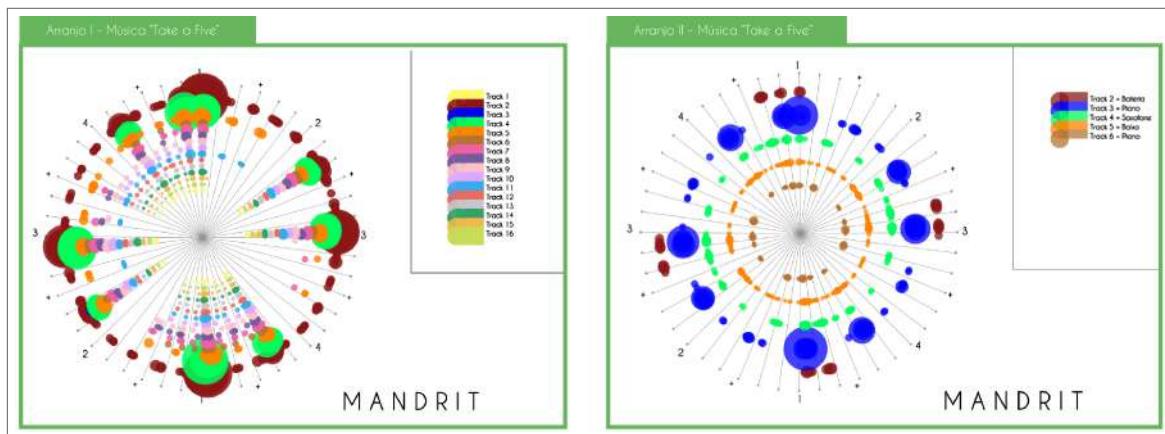


Sabendo que existem vários tipos de compassos, projetamos no Mandrit visualizações generalizadas, aplicadas a com a possibilidade de modificação pela leitura das frações da

referência do compasso, equivalentes a cada música. Mas de modo geral a seleção dos compassos foi arbitrária, a depender da música a ser plotada, em sua maioria na base Mandrit fora utilizado os compassos mais comuns 2/4, 3/4, e 4/4.

Os compassos complexos, foram mais complicados de serem plotados, como por exemplo ao analisar "Take Five" que possui um compasso alternado de 5/4, em que (FILHO; GONCALVES; OLIVEIRA, 2015) descreve que ele "pode ser gerado pela fusão dos compassos 2/4 + 3/4 ou ao contrário 3/4 + 2/4, de métricas ímpares que soam como um exercício intelectual." Gerar suas visualizações também foi complexo, experimentamos plotar em diferentes arranjos da música Take Five, como mostramos na figura 72 e logo percebermos inconsistências na leitura de arquivos de bases MIDI diferentes. Cada gravação realizada, trouxeram diferentes resultados gráficos demonstrando expressividades associadas a músicos diferentes, e seus perfis musicais, apesar de conservar uma assinatura nos polos mais marcantes do ritmo.

Figura 72 – Produções com arranjos diferentes



O arquivo de "Arranjo I", gerou uma visualização mais complexa com maior número de tracks(pistas) ficando incompreensível os seus fundamentos visto que é uma música quinária. Já no arquivo Arranjo II, é possível obter essa assinatura, com as oscilações cíclicas da visualização, entendemos que estas diferenças nos aspectos da expressividade são notórias com produções e arquivos diferentes de uma mesma música. Esse contexto explica-se pelo processo de produção da música que é relativo de acordo com cada músico, até mesmo pela leitura da partitura, que segundo (CÉSAR, 2017) nela existem aspectos semióticos das representações e possui dois momentos enunciativos, "o primeiro é realizado pelo compositor, ao criar a obra e um enunciado visual. O segundo está sob responsabilidade do intérprete ao realizar uma leitura própria desta que resultará em um enunciado sonoro", ou seja, tudo isto tem relação com as transcrições gráficas.

O autor ainda complementa sobre a capacidade da música ser feita por dados imaginados, por isso traz essas possibilidades diversas de leituras, justificando por fim a criação de diferentes arranjos para uma mesma música, que são dependentes dos caminhos que o intérprete percorrerá em relação a composição. O mesmo também aconteceu na aná-

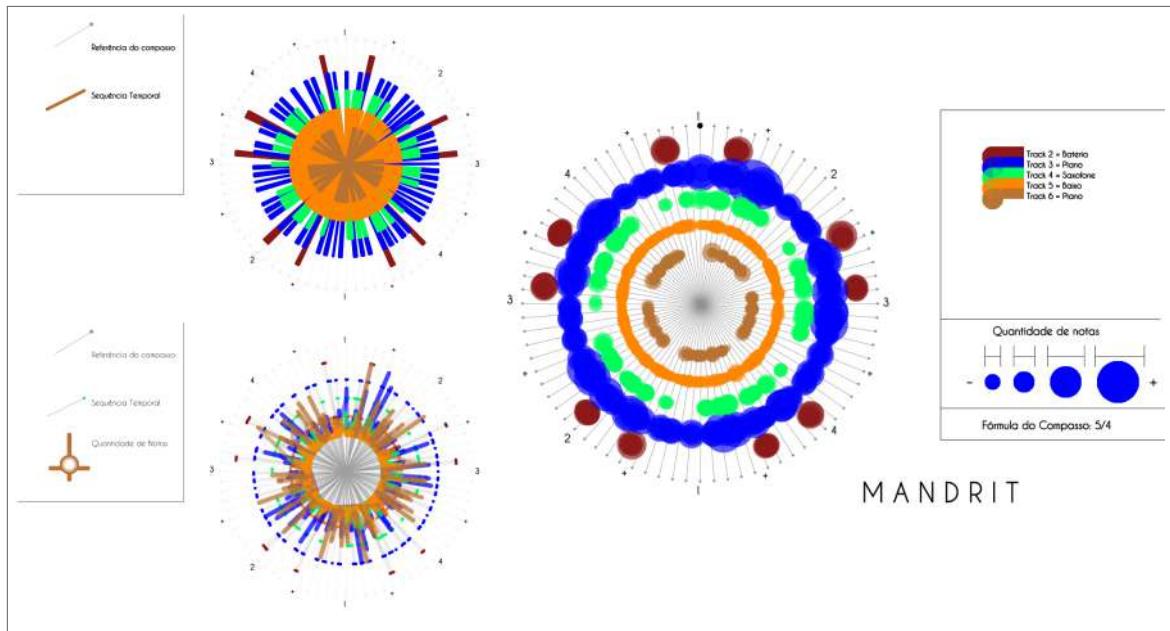
lise de outras músicas, como em "Aquarelas do brasil", e ao plotarmos arquivos MIDI de bases de dados diferentes geraram resultados visuais também completamente diferentes. Sendo assim, com este experimento testamos arranjos e passamos a verificar e compreender até mesmo a influência de seus produtores com outros artistas musicais, sendo possível reconhecer suas performances de acordo com as amostras gráficas visualizações.

Tudo isto nos refletiu também sobre a extração dos dados do algoritmo Mandrit para permitir que ele realize o tratamento de músicas por seus compassos complexos e especificar que seja aplicável a todas músicas filtrando essas informações. Então no caso de "Take five" conseguimos melhorar a visualização reorganizando a produção do arranjo II, colocando-o no Mixcraft assinalando o tempo em 5/4 e renderizando o seu MIDI tipo 1, no entanto antes de gerá-lo novamente aplicando a implementação de propriedade no algoritmo de variação da janela de análise de acordo com o tamanho do compasso. Sendo assim incluímos este parâmetro da função abaixo no algoritmo de extração de dados, onde o "tamanhoAnalise" é variável de acordo com a regularidade que for inserida:

Linha 43: `janelaAnalise = tamanhoAnalise*tiques_por_compasso`

Sendo assim ao plotarmos novamente a música "Take Five", o `tamanhoAnalise= 5`, com base nesta atualização e por um novo arquivo CSV gerado, temos demonstrada na figura 73 como resultado, a assinatura da base rítmica bem demonstrada nas divisões em 5 tempos do compasso.

Figura 73 – Correção Take Five

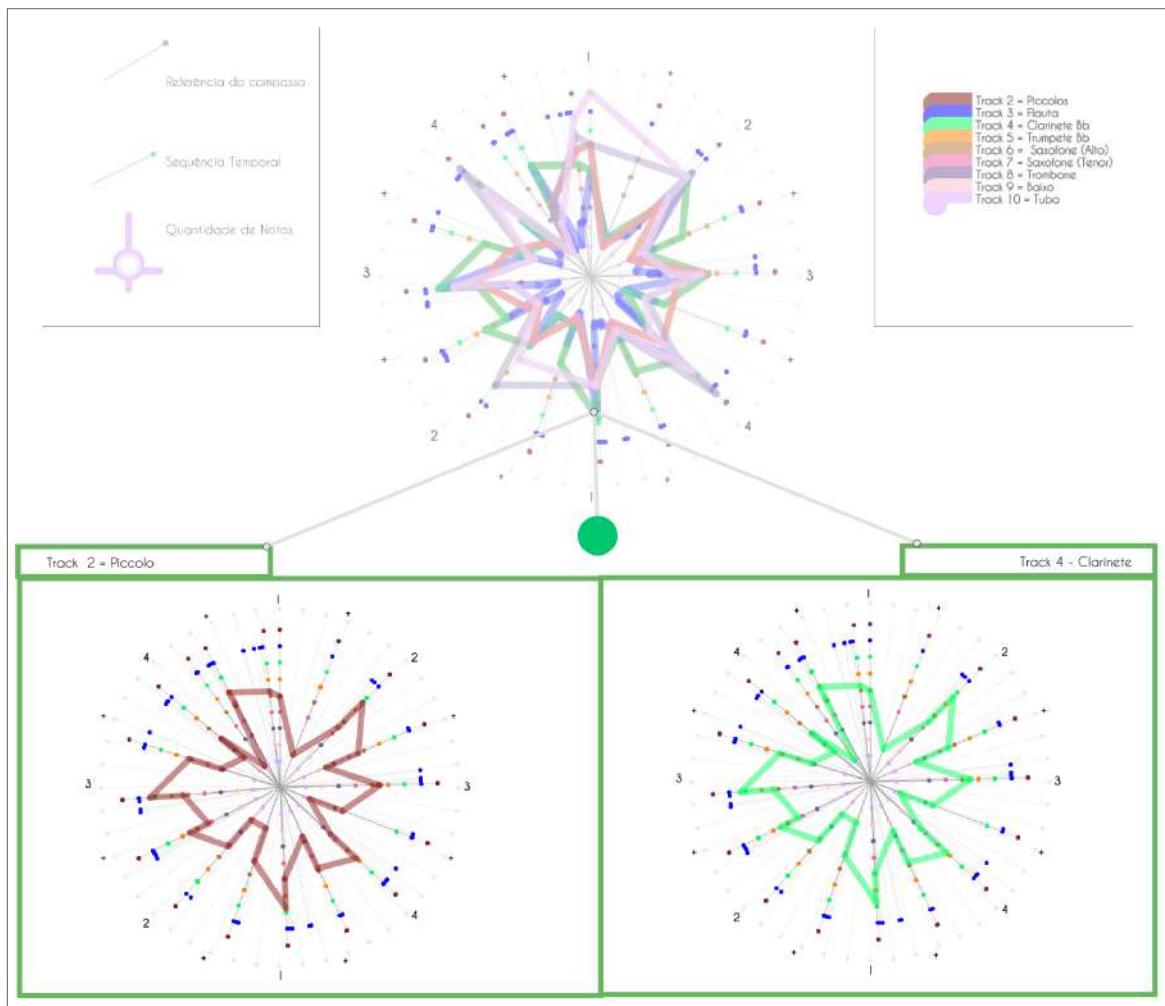


Percebemos que a visualização de modo geral auxilia no acompanhamento da música pois a partitura gráfica tem esse papel, segundo (CÉSAR, 2017) visualizações "propõe uma abordagem do tratamento do material, da forma e do modo de execução evocando as

relações estabelecidas pela representação visual do som, ou a intersemioticista do visual e do sonoro."E com esse exemplo foi possível associar esses elementos, pela forma em conformidade com o ritmo da música.

Um parâmetro facilitador na leitura de determinadas visualizações é a possibilidade de manipulação da ferramenta Mandrit, com a ocultação de determinadas tracks(pistas) como fazemos no arranjo da música "Dancey monkey", da figura 74. Em síntese da assinatura musical possui sobreposições de instrumentos, e ao separarmos cada track(pista) podemos enxergar o preenchimento dos instrumentos clássicos em um mesmo desenho rítmico. Destacados pelas track(pista) 2, do instrumento Piccolos em vermelho, e a track(pista) 4 do Clarinete Bb em verde claro. Concluindo que ambos executam a mesma função na música por isso se sobrepõem na visualização fundindo-se em uma mesma forma gráfica simplificada na cor verde musgo.

Figura 74 – Sobreposições gráficas



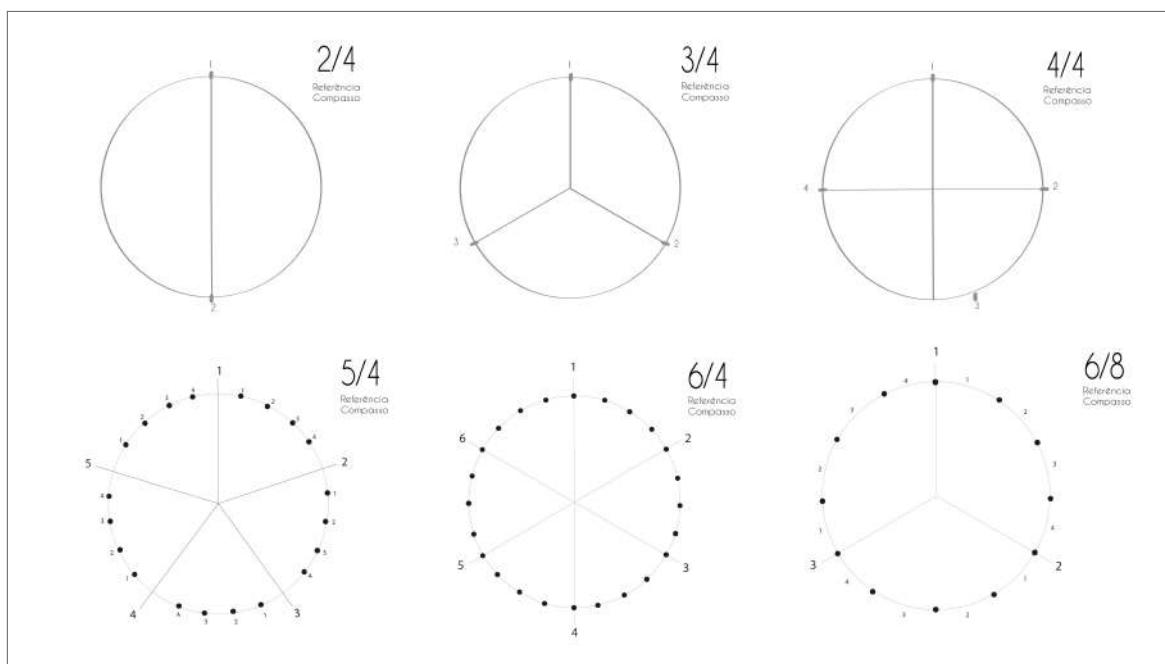
Na análise rítmica deste arranjo, as impressões qualitativas da leitura da visualização foi prejudicada devido a produção sonora possuir muitos instrumentos clássicos mesmo sendo uma música latina, seu arranjo está em formato de música erudita ocidental. Isto foi recorrente em muitos arquivos MIDI utilizados e disponíveis online, pois a maioria

das músicas foram baixadas da plataforma Musescore, que é composta pelo compartilhamento de produções da sua comunidade de usuários. Além disso a maioria das músicas não-ocidentais, não foram encontradas em seus arranjos originais e assim como em "Dancey Monkey" quando encontradas em formato de música erudita ocidental as diferenças rítmicas eram notáveis até mesmo na visualização.

Inclusive ressaltamos esse desafio no acesso a coleções de dados MIDI disponibilizados gratuitamente para este tipo de pesquisa, especialmente para análise de músicas da MPB. Destacamos apenas a (MIDI MUSIC COLLECTION, 2019) que é baseada em uma documentação colaborativa que alimenta uma coleção de variadas músicas com as informações já estruturadas e organizadas com suas respectivas descrições por track(pista), mas que ainda há restrições em determinadas músicas que também não são encontradas.

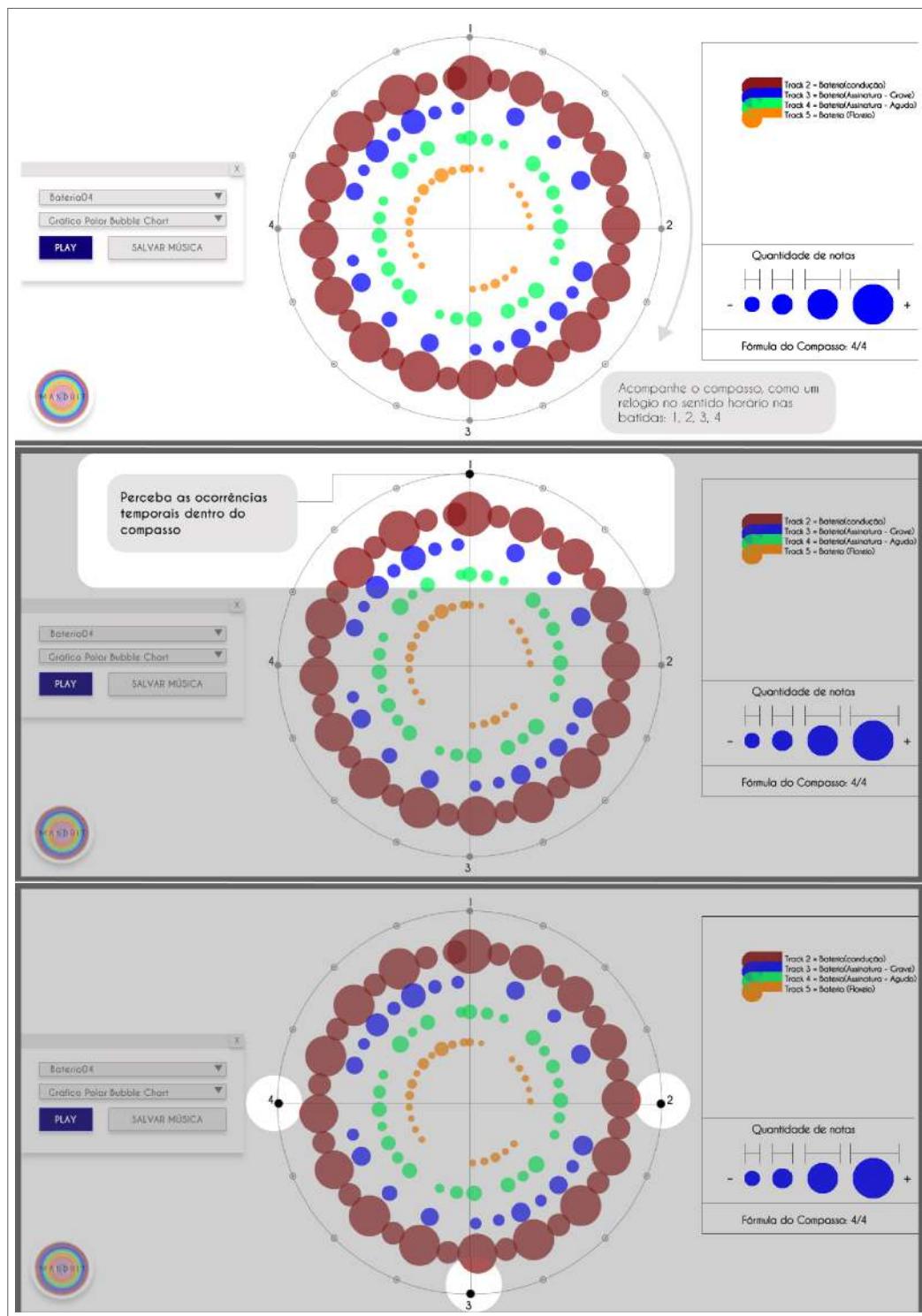
Em algumas rodadas do ciclo de avaliação tivemos como *feedback*, a necessidade de melhorias na propriedade da referência do compasso na visualização, que apesar de já auxiliar na noção de contagem do ritmo com os números (1,2,3,4) a sugestão é que ela poderia ser parametrizada de acordo com o comprimento da fórmula do compasso e regularizada automaticamente para cada música. Então ao realizarmos a atualização da referência do compasso temos como resultado a definição da parametrização da fórmula do compasso enquanto elemento gráfico para auxiliar no acompanhamento como demonstra a figura 75.

Figura 75 – Atualização da Referência do Compasso



Com esta nova referência do compasso, conseguimos simplificar e generalizar as visualizações das músicas de acordo com suas respectivas assinaturas do compasso. Sendo assim desenvolvemos um tutorial explicativo incluindo um cursor animado, para acompanhamento do andamento da música. Como demonstra a figura 76 abaixo:

Figura 76 – Tutorial cursor animado



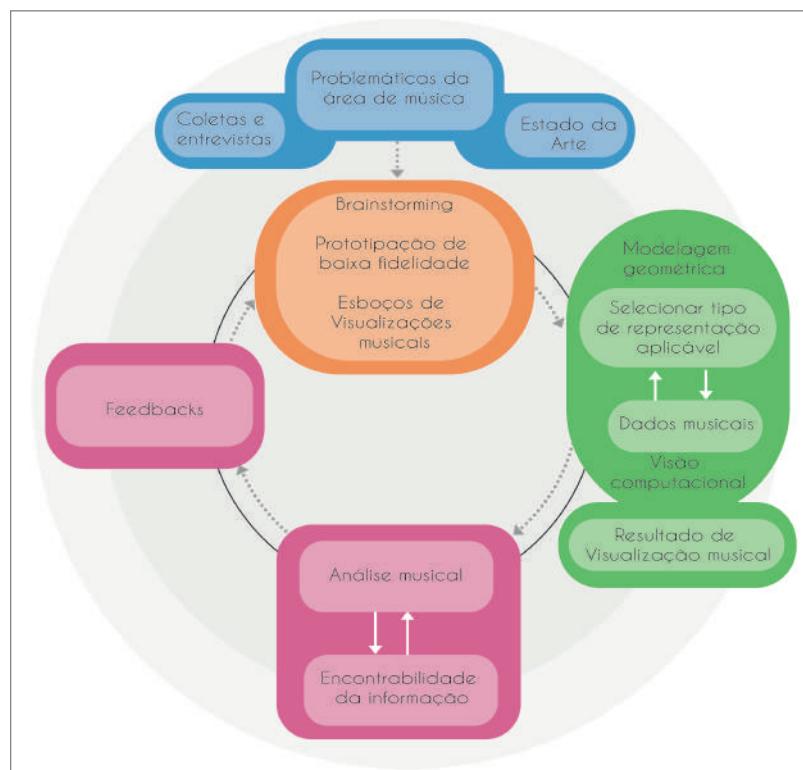
Com o cursor nesta produção musical de compasso 4/4 é possível demonstrar as variações de cada track(pista) e seus elementos rítmicos no decorrer do andamento, representado ciclicamente nos caminhos demarcados pela referência do compasso. Diante de todos os desafios de projeção e constantes melhorias realizadas nas visualizações geradas pelo Mandrit, seguimos em paralelo com processos cíclicos de avaliação com a prototipação até chegar a resultados gráficos comunicáveis.

4.4 AVALIAÇÃO

Para avaliar o Mandrit aplicamos Avaliações de Encontrabilidade da Informação, definido por (VECHIATO; TRINDADE, 2020) como a forma que os sujeitos conseguem se orientar no espaço informacional, entender a sua lógica de organização e utilizá-lo com eficiência e eficácia. E como complementa Reis et al. (2019), este processo tem como fundamento nas taxonomias navegacionais como organização da informação, pelos atributos de controle voltados para sistemas de informação, a captação de metadados e descoberta de informações em relação ao refinamento da pesquisa.

Com os resultados dos gráficos do Mandrit, realizamos um processo cílico de validações, com coletas de *feedbacks* e constantes otimizações das visualizações, como descrito na figura 77. Onde foram registradas percepções por análises críticas das visualizações em relação a suas propriedades gráficas e características dimensionais da cognição musical. Para Vechiato e Trindade (2020, p.12) incluir os sujeitos trás a capacidade de viabilizar o direcionamento com base em suas experiências, habilidades, competências e conhecimentos, promovendo a usabilidade na estrutura do projeto.

Figura 77 – Processo de desenvolvimento por feedbacks



Sendo assim o ciclos de validações, foram realizados com observação de análises, primeiramente com sessões presenciais com grupo focal de uma dupla de especialistas um da área de Música e outro da Visual. Os quais são abordados com perguntas abertas, como "Quais suas impressões sobre a música em relação a visualização?", "O que você considera compreensível dos conceitos musicais deste tipo de gráfico?". Obtendo com a

coleta resultados de descrição oral ou por anotações das perspectivas analíticas dos especialistas, com seus levantamentos técnicos sobre as visualizações. Como o reconhecimento de regularidades ou irregularidades rítmicas das músicas selecionadas, na identificação de elementos e aprimoramentos estéticos e conceituais nas representações. É importante ressaltar que nesta primeira etapa os especialistas já eram participantes do experimento desde o processo de ideação.

Nesse processo experimental também passamos a realizar validações remotas, disponibilizada em um formato de entrevista semi-estruturada experimental, por envio de músicas plotadas e complementadas por um formulário online, com apresentação da aplicação Mandrit, incluso gráficos e vídeos executáveis de visualizações musicais. Buscando com isto coletar *feedbacks*, do processo de análise dos resultados das músicas, com um público externo e direcionado a pessoas das áreas de Música e Design da informação, para obter respostas mais técnicas para auxiliar na melhoria constante das visualizações do Mandrit.

4.4.1 Análise de Informações Musicais

"As visualizações, permitem explorar relações audiovisuais para evidenciar de maneira bastante direta a constituição formal/textural da peça, tornando tais características imediatamente reconhecíveis através da representação gráfica."(PADOVANI; BARBOSA, 2013)

Desta forma, as visualizações foram ferramentas para realizar análises musicais, esta etapa teve como objetivo a decomposição da informação em partes dos elementos que a integram a obra musical como um todo. Por isso, no decorrer e em paralelo aos processos experimentais de aplicação dos parâmetros computacionais para criação das visualizações, foi possível propor experiências analíticas aos especialistas, que resultou em conjunto de melhorias descritas no decorrer da criação da visualização de cada gráfico.

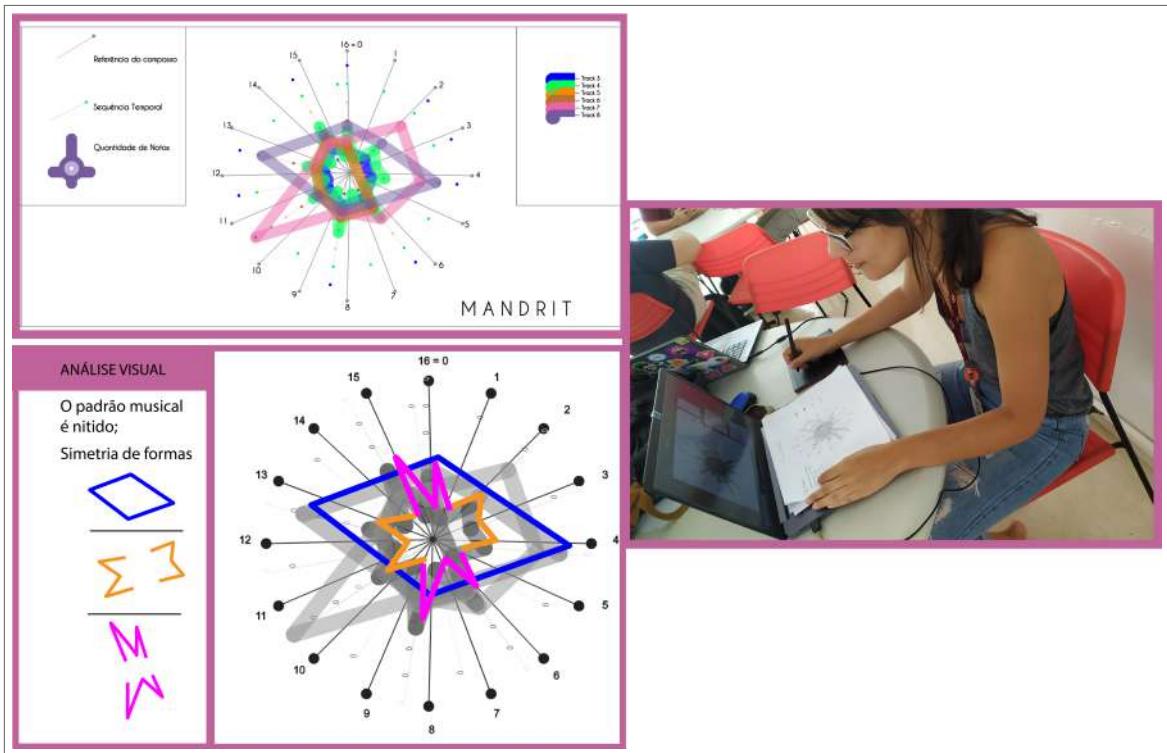
Considerando que a base de dados MandRit possui um conjunto de músicas com seus dados rítmicos, inicialmente foram selecionadas para análise 10 músicas plotadas com suas devidas visualizações e descritas na tabela 8. Com elas foi possível identificar relações da perspectiva musical com a visual, com auxílio dos especialistas e coletando um conjunto de características das músicas plotadas de acordo com a compreensão da informação musical em seus aspectos conceituais, percepções sonoras, visuais e até mesmo nas similaridades de determinadas obras musicais.

Música	Artista	tracks(pistas)	Amostras MIDI
Aquarelas do Brasil	Ary Barroso	1,2,3,4,5,6,7,8, 9,10,11,12,13	2034
Bachianinha	Paulinho Nogueira	2,3,4	40
Xote das Meninas	Luiz Gonzaga	2,3,4,5,6,7	924
Take Five	The Dave Brubeck Quartet	2,3,4,5,6,7	820
A casa caiu	Fernando e Sorocaba	3,5,6,7,10,11,12	455
Machine Gun	Jimi Hendrix	3,4	155
Senorita	Shawn Mendes	3,4,5,6,7,8	54
Maracatu Atômico	Nação Zumbi	3,4,5,11,12,13	169
Garota de Ipanema	Antônio Carlos Jobim	2,3,4,5,6,7,8,9	201
Yesterday	The Beatles	2,3,4,5	120
Frevo Mulher	Zé Ramalho	2,3,4,5,6,7,8,9,10	1066
Dancey Monkey	Tones and I	2-3-4-5-6	70
Baião	Luiz Gonzaga	2,3,4	88

Tabela 8 – Músicas para Análise

O processo de cílico de validação fora realizado com sessões presenciais com especialistas, onde realizamos estudos em relação ao resultado gráfico, os elementos percebidos e análises descritivas das impressões qualitativas. A especialista visual, colaborou com anotações e demarcações em modelos digitais dos gráficos. Como mostramos na figura 78. Trazendo a sua percepção pelas características da representação das visualizações das composições e destacando as assinaturas como esteticamente agradáveis e equilibradas no espaço determinado. Já o especialista musical enfatiza que de modo geral as visualizações permitem ter a noção de ritmo e que poderia ser uma boa alternativa "para execução musical, treinar uma música e solar, por exemplo".

Figura 78 – Análise Visual: Señorita



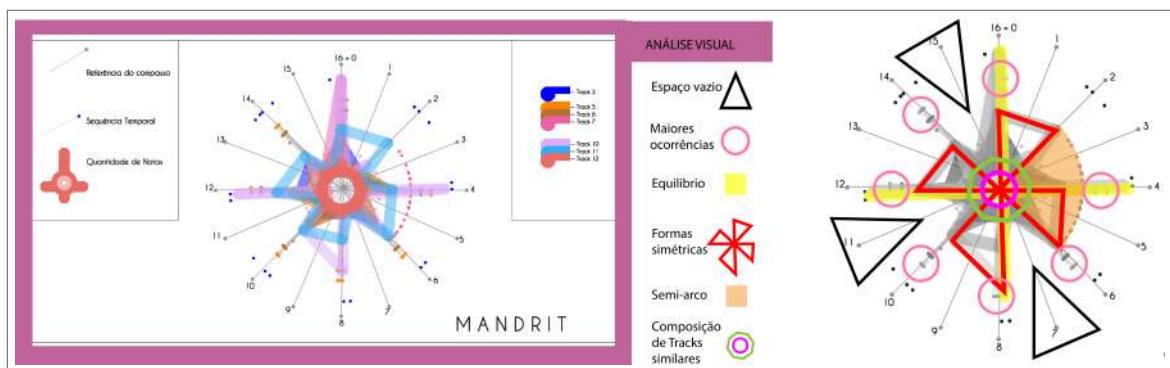
Em relação a música "Señorita" os especialistas concordam em seus discursos que a visualização auxilia em perceber a forma musical enfatizando seu ritmo marcante, a especialista visual identifica essa propriedade pelas simetrias poligonais. Já o especialista musical identifica como "visível a simplicidade da música latina, bem quadrada com uma pegada complementar." Ambos denotam que na visualização é bem demonstrada as marcações e acentuações, percebendo que no arranjo o ritmo está como na música original, ambos conseguem ouvir separadamente alguns elementos com auxílio da visualização, identificando que nas tracks(pistas) 1 e 2 temos a melodia da introdução, 3 e 4 o mesmo som só que com mudanças de timbre e por fim 5,6 como sendo a base rítmica e valorizando as assinaturas rítmicas em relação a ocorrência temporal. Tudo isto pode ser justificado segundo Toussaint (2013, p.34) pela "facilidade com que os humanos percebem simetria espacial, especialmente com a notação poligonal". Ou seja, as percepções sobre as questões de conservação da forma, suas repetições estruturais no ciclo gráfico e musical são compreendidas - por distâncias, ângulos, tamanhos variáveis - e associadas a características relacionais, comparativas, destacando os eventos mais importantes em relação aos dados de cada track(pista) em função da quantidades de notas e do tempo.

Durante todo o processo de coleta de *feedbacks*, os especialistas também realizaram análises comparativas em relação a determinadas músicas de gêneros e ritmos diferentes, e propuseram otimizações nas visualizações identificando a necessidade de modificações, ou sugerindo implementações futuras enquanto sistema para existir possibilidades deles mesmos selecionarem a música que desejariam realizar e as informações que queriam

ocultar para analisar melhor determinada track(pista).

Na música "A casa Caiu- Fernando e Sorocaba", ambos especialistas reconhecem nos aspectos visuais e sonoros comportamentos aleatórios, o especialista musical ressalta "os ritmos são bem marcados, é uma música extremamente simples binária, a visualização demonstra que ele marca só no inicio do acordes." E a especialista visual complementa que nesta música também consegue identificar os vazios ou silêncios são simétricos, ou seja, se repetem e são espelhados visualmente, possuindo também similaridades na composição das demais tracks(pistas), o que justifica esse acompanhamento bem demarcado do ritmo.

Figura 79 – Análise Visual: Simetrias Musicais

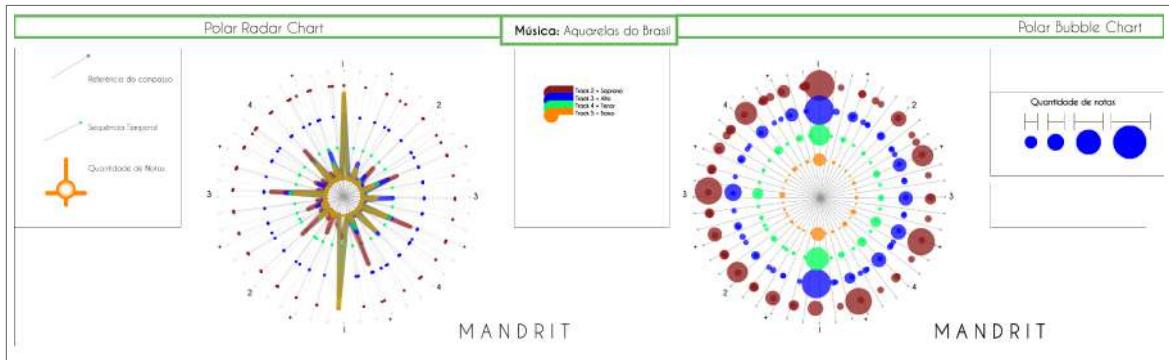


O analista percebe que "na visualização fica claro, a função não rítmica dos acordes" pois eles são representados no gráfico apenas com pequenos instantes, é como se marcassem apenas a entrada do acorde, demonstrando em alguns momentos tempos vazios, ou seja tocados realmente quando se troca de nota, o que significa que naquela track(pista) a frase rítmica não existe pois o foco ali seria a harmonia e é visível isto em determinados trechos do gráfico.

A maioria das músicas analisadas as dimensões são rítmicas e não melódicas, então consequentemente nas descrições foram percebidas que logo identificavam acúmulos de vozes, ou que os movimentos entre as vozes não fiquem tão claros. Assim, descreve o especialista musical "é possível visualizar elementos bem marcantes, como na representação da melodia em determinadas trilhas pelo fraseado rítmico, que não tem um sentido muito claro, por ela não ter padrões notórios." Reforçando o que Toussaint (2013) afirma sobre a o ritmo e a melodia serem elementos independentes, mas que ao mesmo tempo na música, eles geralmente interagem juntos e se influenciam de maneiras complexas.

Foram citadas também algumas problemáticas da visualização estática, especialmente da *Polar Radar Chart*, que acaba trazendo uma poluição gráfica, pois as informações estão redundantes. Na figura 80 demonstramos um exemplo em que a sequência temporal demarcada pelos pontos, apesar de trazer precisão na área polar, ao mesmo tempo pode confundir visualmente a informação das quantidades de notas que estão representadas pelo traçado mais forte referente ao contorno dos polígonos.

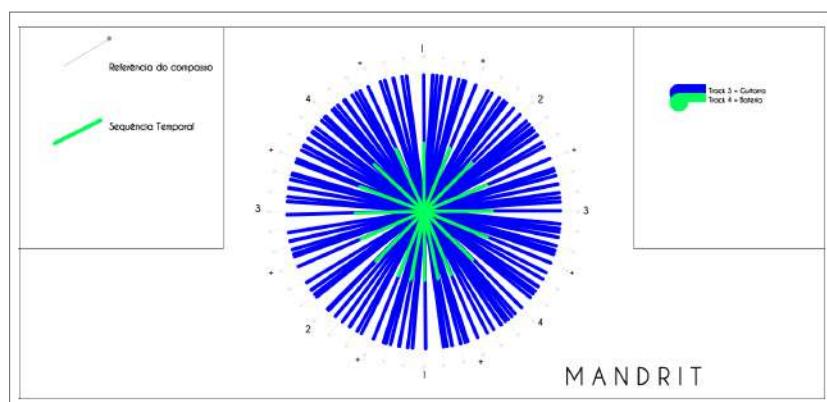
Figura 80 – Melhoria de sobreposição: Aquarela do Brasil



Apesar dos analistas denotarem como positivo e de estética agradável a representação do ritmo no resultado final do *Polar Radar Chart*, pelo seu acúmulo de dados na representação em função das assinaturas rítmicas. Consideram também que as sobreposições entre tracks(pistas) que possuem muitas ocorrências temporais semelhantes, dificultam mais a leitura em algumas músicas. Por isso o *Polar Bubble Chart* soluciona esta questão, pois agrupa as informações que estão se sobrepondo fazendo seus valores serem associados a apenas uma forma geométrica, o círculo, e pelo seus espaçamento e disposição na área polar referenciando o tempo pelo comprimento da circunferência.

O aspecto temporal, tratou-se do elemento mais complicado para ser plotado nas visualizações estáticas, principalmente com amostras de altos valores das batidas do compasso. Como verificado na música "Machine Gun", na figura 81, plotada pelo gráfico Radial Column, percebemos que músicas com grandes quantidades de tracks(pistas), e seus respectivos valores temporais se agrupam formando um resultado visual único em cada música. E citada por um dos analistas, como um gráfico que demonstra "um resultado muito caofônico e o caótico no áudio, acho que o gráfica representa bem isso (com menos caos, mas ainda bem complexo). Mas a única leitura que é um pouco mais clara é o A7, onde noto claramente a guitarra e sua presença frenética. Os outros dois apresentam resultados visuais mais interessantes mas menos legíveis."

Figura 81 – Música: Machine Gun

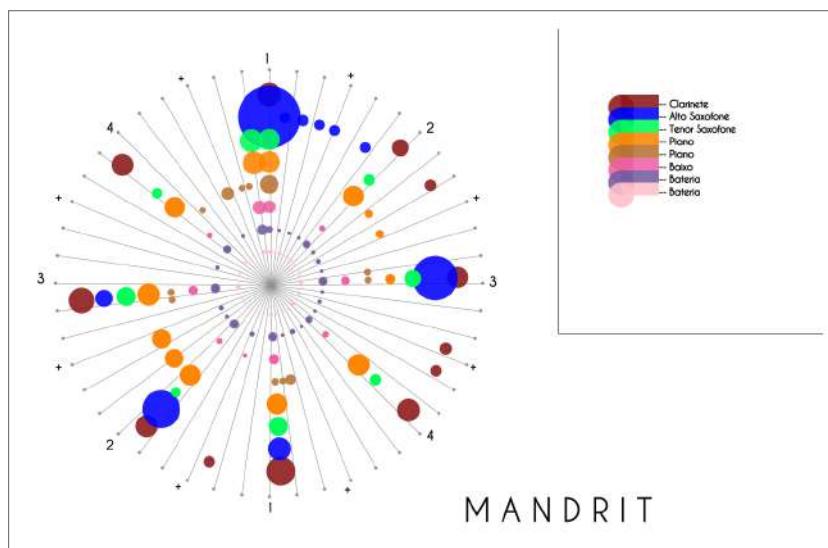


Na música "Garota de Ipanema- Tom Jobim", um dos maiores clássicos da MPB na

figura 82 é demonstrado pela sua originalidade estética no gráfico, onde a maior ocorrência de notas das tracks(pistas) estão no saxofone alto e clarinete, demarcando ritmicamente todos os tempos do compasso e formando um padrão próprio da música no visualização. O analista colaborador descreve,

"A batida constante de bossa, na bateria está lindamente plotada no gráfico. Porém, por serem muitas vozes de melodia, achei que ficou confuso visualizar e distinguir as mesmas no gráfico e entender melhor o ciclo musical." (Descrição- Analista Colaborador)

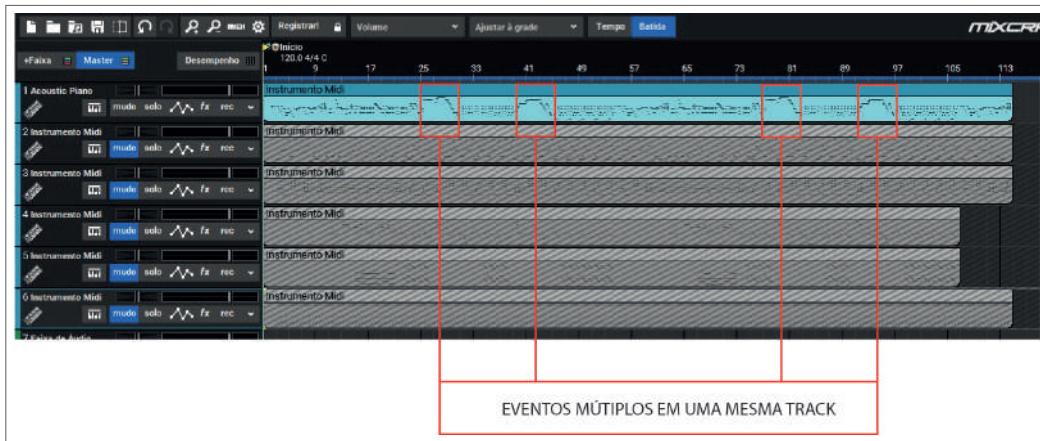
Figura 82 – Polar Bubble Chart: Garota de Imanema



Em alguns momentos da análise a percepção musical fora auxiliada com o acompanhamento em paralelo com a leitura do arquivo MIDI em execução. Onde o participante especialista em música, utiliza o software Mixcraft consegue validar o que visualiza em relação ao que estava escutando, e consegue perceber as poluições gráficas devido aos acúmulos de determinados eventos musicais em uma mesma track(pista).

Observando e identificando por exemplo na visualização da música "Xote das meninas", da figura 83 que a track(pista) 01 do arquivo possui eventos múltiplos misturados, parte da melodia com a base rítmica. Desta forma, tem muitos outros dados dentro de uma mesma track(pista) e por isso nem sempre esta análise é tão precisa. O que acabou gerando sobreposição na visualização, a qual mesmo demonstrando os elementos típicos de um Xote, ainda assim houve dificuldade na análise devido a este agrupamento das informações. A alternativa para melhoria da visualização desta música foi selecionar outro arranjo e posteriormente plotar a música. Contando com a colaboração do participante, também propôs que a exploração de visualizações dinâmicas também possam ser caminhos viáveis para demonstrar melhor estas informações, até mesmo a duração por permitir visualizarmos estes trechos ao longo do tempo.

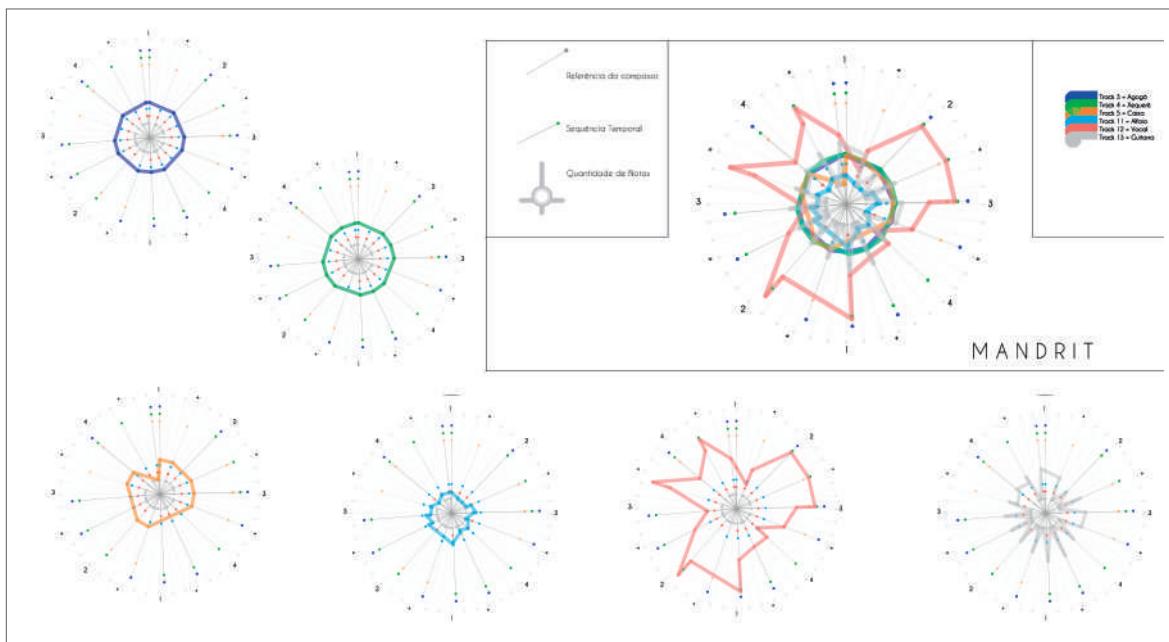
Figura 83 – Eventos Musicais



Além de também considerar interessante uma utilização interativa da aplicação MandRit na geração de gráficos, solicitando que enquanto ferramenta permitisse a manipulação desses dados, onde pudesse selecionar tracks(pistas) específicas no momento da análise para melhor visualizá-las. Ou seja como otimização seria necessário criar um botão clicável, para esta ação de dar autonomia ao usuário em ocultar e visualizar determinada track(pista).

Para isto, já possuímos a solução mas ainda não automatizada, precisando ser editada em código no ato da avaliação, ou seja modificando em tempo real o gráfico. Aplicando um valor menor na espessura do traçado para melhorar o aspecto sobreposição, e também pela seleção do *array* de tracks(pistas) ocultar ou não determinada track(pista). Como foi feito na música "Maracatu Atômico" da figura 84 abaixo, em que precisamos separar as tracks(pistas) para entender seus movimentos musicais individualmente.

Figura 84 – Visualização por seleção de tracks(pistas)



Sabendo que o ritmo do maracatu de fato possui essa construção conjunta da regularidade nos elementos estéticos da sua narrativa, tendo como estrutura uma célula que alterna em vários tempos. Destacamos alguns instrumentos, que fazem "quebras" para enriquecer este ritmo, como o Agogô e o Caixa que são meio irregulares, e são bem representados pelos polígonos que variam suas extremidades deformadas e relacionadas com o tempo e acontecimento das notas.

A visualizações segundo análise da autora observando todo conjunto dos resultados gráficos, percebe que o ritmo é demonstrado com assinaturas influenciadas pelas culturais populares, demonstrando aspectos muito individuais em cada uma delas e com as diferenças de estruturas rítmicas. No Maracatu, Martins (2014) reforça que cada instrumento possui particularidades, e juntos trazem essa polirritmia do conjunto da obra. Em justificativa traz como as Alfaias(instrumento musical- tambor de madeira), elas seguem uma organização tipicamente africana, onde há um tambor agudo, um médio e outro grave. Normalmente, os tambores graves fazem a marcação e os tambores médios e agudos fazem as variações.

Por isso, trazer a possibilidade em visualizar cada instrumento separadamente foi essencial. Pois segundo relatos dos analistas, quando a obra musical está em conjunto com todas as tracks(pistas) podem trazer dificuldades em relação a análise pelo acúmulo de informações, podendo surgir algumas dúvidas sobre a entrada do vocal por exemplo. Com muito treino visual e auditivo, e contato com a visualização conseguiram acompanhar a música enquanto seu trajeto rítmico, e por vezes identificam que as figuras rítmicas seguem e o padrão bem definido pelo resultado da obra musical.

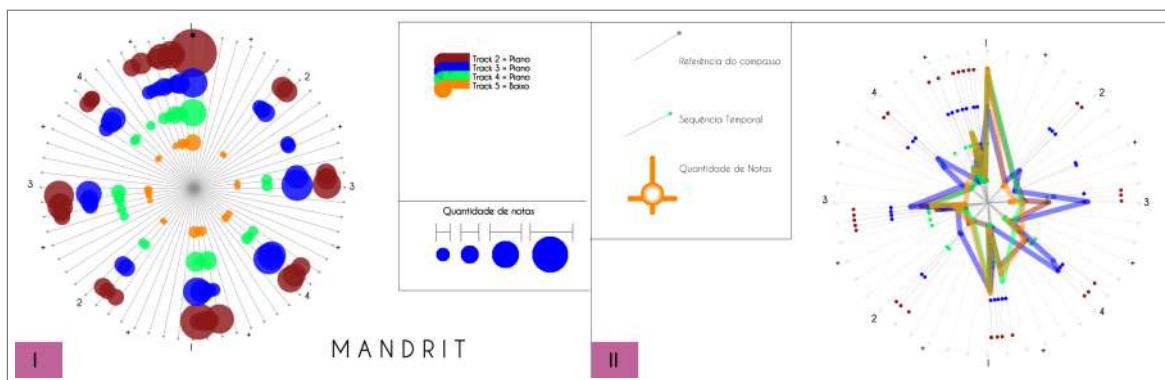
Apesar disso, nesse ciclo de avaliações os colaboradores identificam que há representações que as informações na visualização ainda não organizam bem as informações. Por exemplo, em músicas com o mesmo instrumento há dificuldades em perceber as diferenças melódicas de um floreio e aleatoriedades musicais, tudo ocorre estaticamente e acumulados num espaço circular de uma mesma track(pista). Apesar disso na visualização existe a separação gráfica destes elementos, e variação da forma pode permitir explorar o que exatamente o usuário deseja visualizar.

Essas possibilidades de explorar o conceito musical em relação a forma, trazem fatores importantes e discutíveis em relação a questionamentos que surgem para outras abordagens, como por exemplo: "como aplicar a intensidade em visualizações musicais?". Sabendo que este é um elemento muito importante e forte, na cadência de movimentos dos ritmos latinos.

Em alguns casos arranjos produzidos com o mesmo instrumento e que possuem o mesmo timbre, como em "Yesterday"da figura 85, que possui apenas track(pista) de piano torna a leitura da visualização ainda mais complexa segundo os analistas, pois fica difícil de distinguir nesta visualização que possui 120 amostras de dados rítmicos distribuídos nas 4 tracks(pistas), um dos analistas consegue perceber alguns aspectos como a notável

da regularidade rítmica da música, outro a prevalência da track(pista) 02 e o movimento musical das notas que seguem um padrão visual em espiral de acordo com o ritmo. E outro complementa "As notas são igualmente espaçadas parecem estar sendo movidas ao longo do compasso." Mas quando consideramos seus gráficos comparativamente tipo I - Bubble Chart e tipo II - Polar Radar Chart, os participantes consideram que fica confuso encontrar relações entre ambos pelos resultados estéticos ser bem diferentes. Verificamos um embaraço na leitura das propriedades da visualização em II, pois notavelmente a maioria não conseguiram entender a informação plotada no plano bidimensional pois há uma mudança na leitura da orientação dos valores das quantidades de notas que variam em relação ao eixo do raio da circunferência de referência ao longo de todo ciclo.

Figura 85 – Análise Pistas Yesterday



Estes gráficos foram resultados de testes buscando auxiliar na exibição de prioritária da quantidades de notas em função da ocorrência temporal. Consideramos que estes conjuntos de testes com as visualizações, podem ser fundamentais para entendermos melhor organização de dados musicais digitais e ser provocativas, para entender elementos que não eram visíveis antes, como a correspondência instrumental.

4.5 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Para sintetizar todo desenvolvimento deste estudo de caso, trazemos como contribuição o modelo de Protocolo experimental baseado nos fundamentos da abordagem Design Thinking. Enfatizamos que para aplicá-lo em contextos reais é necessário centralizar usuário em todo processo, definir objetivos, planejar e executar ciclos de ideação, prototipação e avaliação. Assim, construímos colaborativamente com especialistas das áreas musical e visual, o que chamamos de "Card para exploração de problemas na área de Música", demonstrado na figura 86 abaixo.

Figura 86 – Card para exploração de problemas complexos na área de Música

Problematizar	Idear	Prototipar	Avaliar
Coleta de dados Estado da Arte Imersão nas problemáticas da área Criação de perguntas norteadoras de pesquisa Definição de Personas e potenciais usuários colaboradores na investigação da problemática	Colaboração e estímulo a criatividade Tomadas de decisão centralizadas no usuário Coleta e produção de insights Categorização de resultados das visualizações musicais Mapear e analisar jornada de usuário	Geração automática de visualizações Exploração de ferramentas Desenvolvimento do Sistema (Mandrit) Extração de dados(MIDI) Parametrização dos dados musicais. Geração e personalização Gráfica	Pesquisa Qualitativa e Quantitativa das visualizações musicais Análises Musicais Encontrabilidade da Informação Coleta de feedbacks
Métodos: Revisão de Literatura Pesquisa Desk Mapas mentais Matriz CSD Entrevistas	Métodos: Observação Sistemática Experimento piloto Sessões generativas Fluxograma Storytelling	Métodos: Prototipagens - Baixa, Média e Alta fidelidade- <ul style="list-style-type: none"> • Esboços em Papel • Mockups • Wireframes • Software 	Métodos: Formulários Testes de protótipos Ciclos de Avaliação de resultados

Com o desbrinamento da problemática de visualização e comunicação de informações musicais, desde a sua ideação, prototipação e avaliação. Onde todo o processo demonstrou as diversas possibilidades de transpor os dados musicais para representações. Desde as dinâmicas aplicadas para definição da problemática, até chegar no processo de criação com as gerações de *insights*, que resultou na prototipação da aplicação Mandrit como uma ferramenta necessária ao usuário, tendo em vista a demanda por verificar obras musicais com suas grandes quantidades de dados musicais. E como resultado as visualizações geradas auxiliaram na realização de Avaliações por análises das informações musicais, comunicando elementos rítmicos relacionadas as propriedades gráficas.

É importante enfatizar que a associação das informações musicais com os elementos visuais, como as formas, texturas, cores das representação, permitiram com o desenvolvimento dos esboços, auxiliar na compreensão de aspectos complexos ou incompreensíveis nas obras escolhidas, ou até mesmo a fazer notar informações que não eram percebidas anteriormente trazendo novas visões sobre a música pela representação.

Definir os objetivos é essencial, pois as funcionalidades de uma visualização devem estar totalmente alinhadas com a equipe envolvida em função das dores latentes do projeto, por isso a necessidade de planejar critérios norteadores. E com as sessões generativas permitimos que o especialista colabore livremente, porém dentro do escopo da pesquisa criando suas visualizações explorando aprofundamentos técnicos e explicativos.

Após todo processo de coleta dos esboços, passamos a etapas mais práticas do ponto de

vista computacional que é o desenvolvimento de software para automatizar e parametrizar a solução, no caso do ritmo pudemos utilizar de suas macroestruturas informacionais para associá-las as propriedades gráficas, gerando assim as visualizações do Mandrit, que é implementado tendo como base estas diretrizes no contexto do nosso estudo de caso para resolução da problemática de visualizar informações do ritmo. Por fim, pudemos utilizar os resultados gerados para fomentar discussões no campo de análise de música Brasileira, verificar semelhanças de gêneros musicais pelos seus fundamentos da estrutura do ritmo.

Consideramos valioso e muito rico o processo cíclico de criação e validação com o usuário, pois possibilita realização de otimizações até apontar para viabilidade da visualização, todos os testes e experimentos realizados permitiram tornar todo projeto de pesquisa mais técnica e específico a cada coleta de *feedback*. Desde a etapa de definição parcial com as ideações, quanto com as otimizações realizadas através da prototipação computacional até as avaliações dos resultados.

Por fim, durante todo processo de desenvolvimento das visualizações, com as projeções experimentais foram sendo geradas um conjunto de imagens gráficas musicais e um ambiente de troca informacional tanto da autora que apreendeu em cada etapa sobre os conceitos musicais para aplicar suas propriedades ao sistema, quanto da utilização do Mandrit, enquanto gerador e personalizador de visualizações musicais promovendo inquietações sobre as possibilidades de parametrizar macroestruturas do ritmo, permitindo ainda usabilidade e a ampliação da capacidade de comunicação das informações musicais.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, demonstramos os resultados atribuídos a hipótese desta pesquisa sobre as possibilidades de exploração da comunicação visual como meio para facilitar a compreensão de informações musicais, automatizando gerações de visualizações personalizáveis e permitindo com os resultados trazer contribuições para área de análise musical do ritmo.

5.1 DIRETRIZES PARA DESENVOLVER VISUALIZAÇÕES MUSICAIS

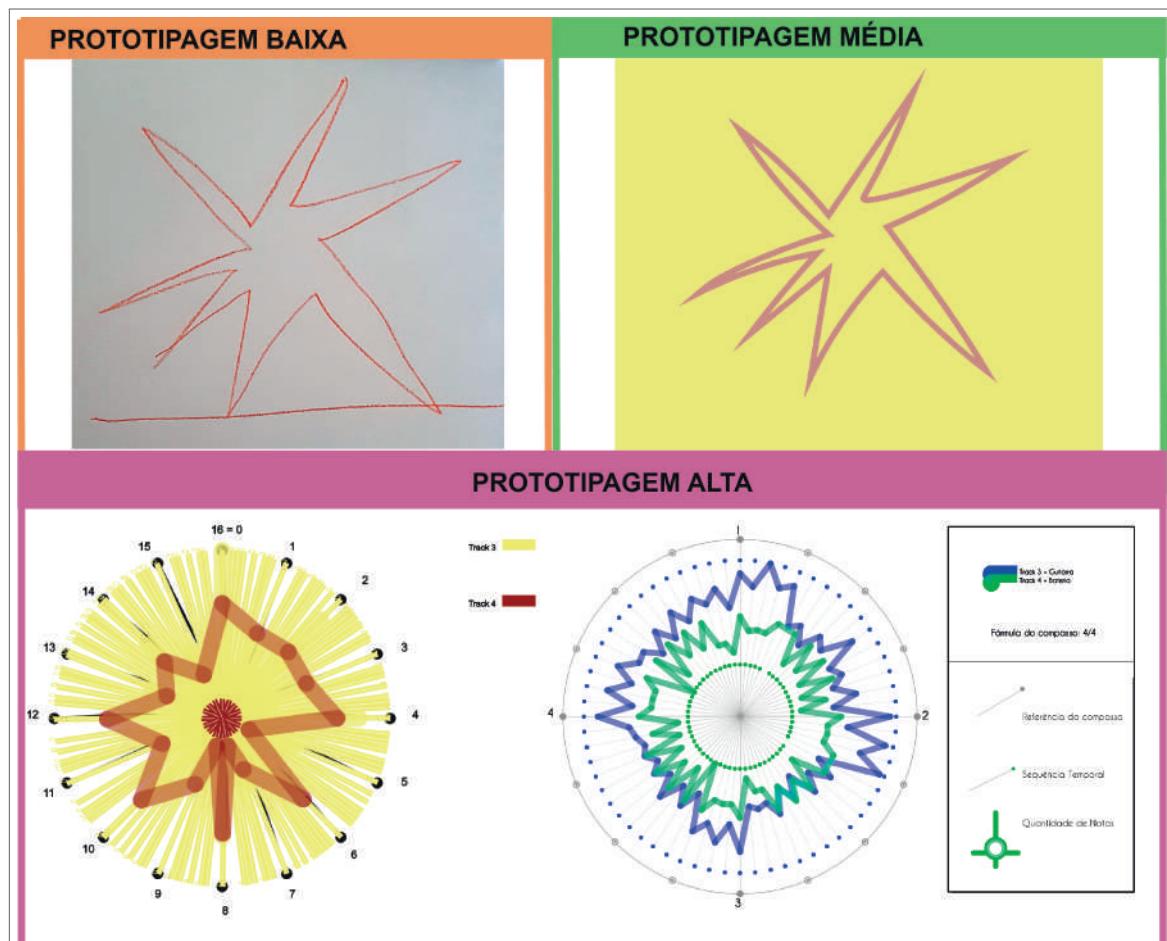
Tendo em vista os desafios que enfrentamos em gerar novas Visualizações de Informações Musicais deste campo escassamente explorado na literatura, trouxemos como contribuição 5 diretrizes que direcionam caminhos para desenvolvimento de sistemas de visualização musical, para auxiliar entusiastas e pesquisadores que visam utilizar tecnologias para criar novas ferramentas para esta área e facilitar processos compostionais, de ensino e análise musical. Temos como base todo estudo realizado com a aplicação do modelo de protocolo experimental somado ao *card* explorador de problemáticas complexos na área de música, fundindo as diretrizes que são:

- (1) Observação técnica e participativa centrada no usuário para explorar informações musicais a comunicar visualmente.
- (2) Categorização e seleção de tipos de visualização a desenvolver.
- (3) Exploração do processo criativo auxiliado por recursos computacionais, para gerações das visualizações automáticas pela extração, tratamento, filtragem dos dados musicais e aplicação em *estruturas visuais*.
- (4) Realização de processos cílicos de ideação, prototipação e avaliação com coleta de *feedbacks* e testes de fidelidade.
- (5) Comunicação, compartilhamento e disseminação dos resultados para fortalecimento da comunidade.

Com essas diretrizes aplicáveis podemos nortear o processo de pesquisa de maneira mais fluída para obtermos soluções tangíveis. Enfatizamos que tudo isto foi enriquecido porque conversamos com pessoas, ouvimos e entendemos contextos e problemáticas. Por isso, envolver diretamente possíveis usuários centralizando-os em todo processo de criação, é tornar imersiva e construtiva a investigação do processo de comunicação visual da música, assim em cada etapa de aplicação da abordagem Design Thinking, enriquecemos o processo efetivamente com tarefas práticas de resolução de problema e principalmente utilizando das prototipagens de baixa, média e alta fidelidade.

Buscando sempre alinhar com os *insights* propostos pelos potenciais usuários desde a sessão generativa. Um resultado relevante de ressaltar é o exemplo da figura 87 em que demonstra a música "Machine Gun" em seu processo de ideação, a transformação em arquivo digital, posteriormente com o Mandrit e os dados MIDI de um arranjo encontrado o resultado gráfico foi semelhante a ideia inicial do participante colaborador.

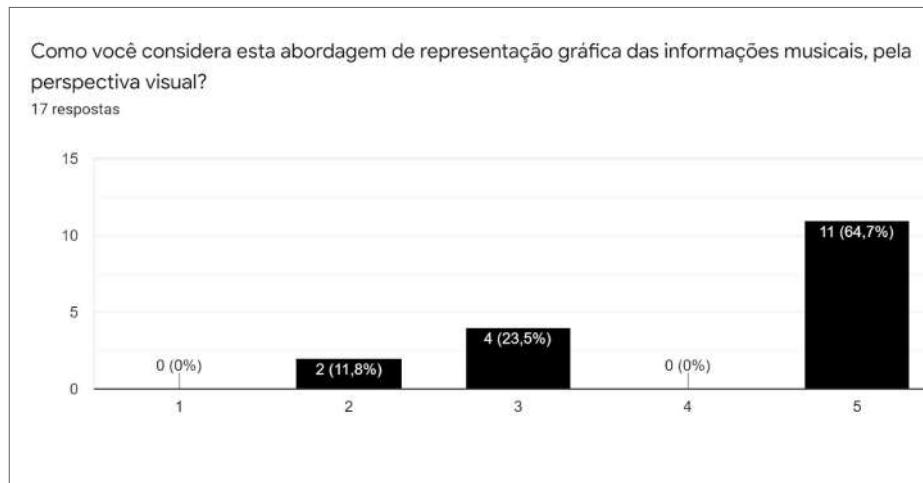
Figura 87 – Processo de Prototipação



Descrevendo em sua representação que a escolha de música trouxe relações a sua sonoridade caótica e complexa da obra musical. E a considera genial devido a virtuosidade do artista em sua expressividade explosiva de emoções ao tocar sua guitarra, e referenciar momentos também complexos da vida. Por fim é o que visualização do Mandrit trouxe,

Diante deste cenário, também coletamos *feedbacks* qualitativos e quantitativos em relação a temática, foram realizados formalmente pelo formulário de análises musicais desta pesquisa. Onde questionamos sobre a relevância de comunicar visualmente uma informação musical 11(64,7%) das pessoas que responderam consideram relevante 4(23,5%) consideram mediano e 2(11,8%) pouco relevante.

Figura 88 – Relevância da temática



Como a temática interessa a maioria do grande público envolvido, isto proporciona para nós pesquisadores visões assertivas sobre a viabilidade e continuidade do projeto apesar de sua complexidade de desenvolvimento.

A avaliação da abordagem do modelo do protocolo experimental também confirma este engajamento, pelos participantes que haviam descrito pela coleta também via formulário online, através da coleta de *feedbacks* descriptivos como demonstra na figura 89.

Figura 89 – Feedbacks Sessões Generativas

Você tem algum Feedback sobre o método da pesquisa?
Gostei, é descontraído e consegue recolher uma boa quantidade de dados.
Acho que é um campo com espaço pra muita pesquisa interessante, talvez seja interessante fazer testes mais longos, onde o usuário tenha mais tempo de desenvolver a ideia antes do desenho em si, ou talvez analisar artistas que já fizeram coisa parecida. valeu :)
O método foi bem aplicado.
Sim, mas tive dificuldade em compreender um pouco a relação música, genialidade da obra/do compositor com tipos de desenhos para ilustrar a ideia de minha compreensão sobre.
Válida para ter noção da forma com que as pessoas vêm a musical!
Achei muito massa todo o processo.
Amei.

Os envolvidos de modo geral apreciaram o método considerando-o bastante imersivo, devido a todo ambiente proporcionado de permitir ouvir a música escolhida, os momentos de discussão da temática e da geração de suas ideias em formato de esboço visual,

explorando processos criativos para compreender e explicar informações musicais com a contribuição de geração de suas melhores ideias a tarefa prática da sessão generativa.

5.2 APLICAÇÃO MANDRIT

O Mandrit foi desenvolvido com objetivo de auxiliar no estudo e análise do ritmo. Possui uma API que processa e extraí dados de arquivos MIDI com as especificações de informações do ritmo pela fórmula do compasso, tempo, quantidade de notas e suas determinadas tracks(pistas). E gera as visualizações de um conjunto de dados de toda a música plotando suas respectivas assinaturas rítmicas das métricas da fórmula do compasso, quantizadas através de subdivisões do compasso pelos tempos relativos ao último evento registrado na sequência MIDI.

Com os dados do ritmo extraídos, realizamos a transposição das suas informações com plotagens tendo como resultados gráficos as visualizações do Mandrit. Que foram construídas com valores generalizáveis associados aos parâmetros das informações musicais em função das estruturas visuais, suas propriedades são descritas na tabela 9 abaixo:

Parâmetros Musicais	Estruturas Visuais	Generalização
Quantidade de Notas	Rotação e Translação das Formas geométricas: Círculos, Polígonos e segmentos de retas.	Variam de acordo com dados da matriz
Tracks(pistas)	Espaçamentos equidistantes	Raio menor= 100; Raio maior = 300;
Ciclo temporal e Granularidade	Comprimento da circunferência	64;
Ordenação das Notas	Proporção entre bolhas	
Alinhamento de posições	Tamanho Menor =1; Tamanho Maior = 3;	
Janela de Análise	Variação de Referência do compasso	2; ou 3; ou 4; ou 5;

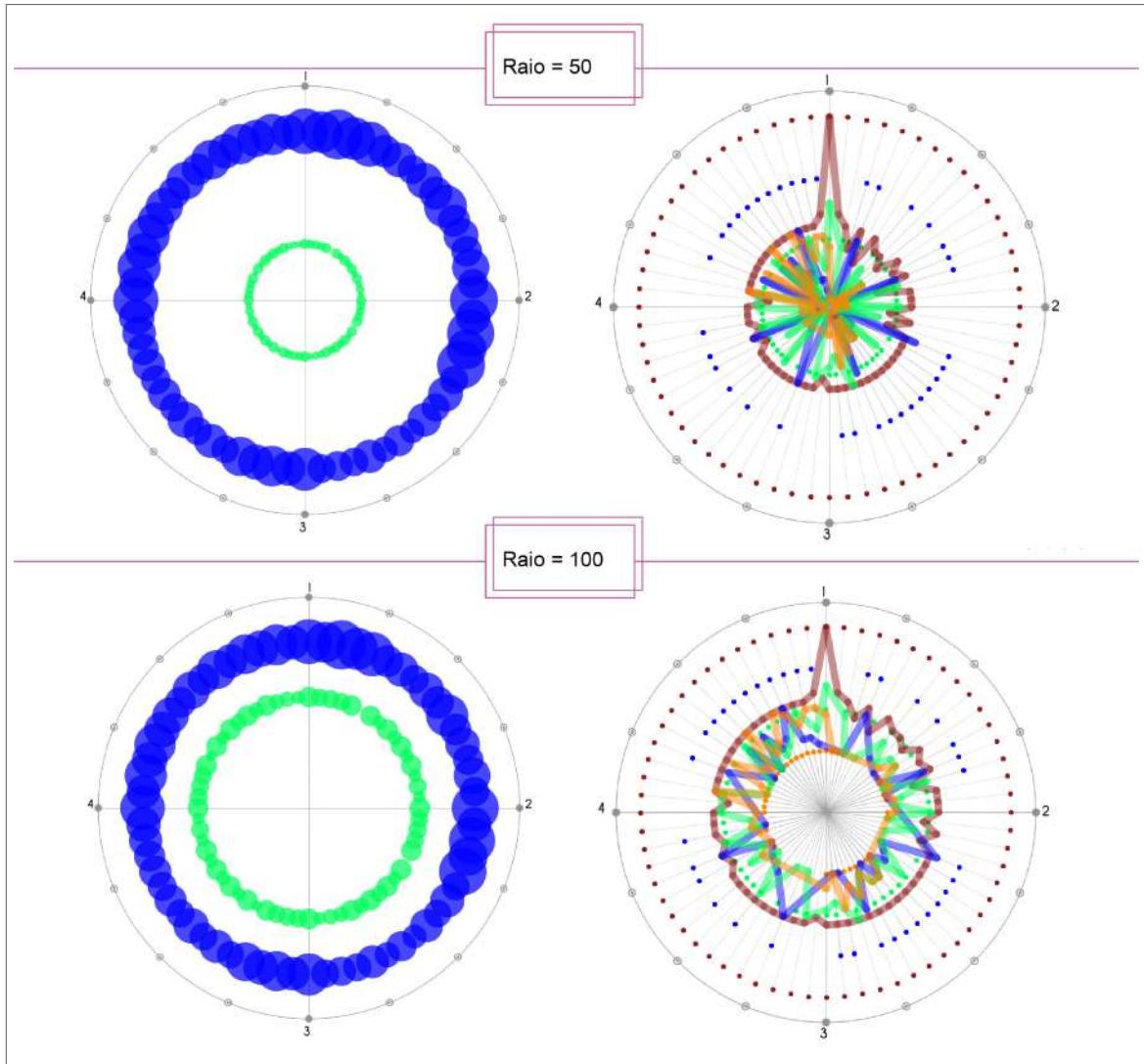
Tabela 9 – Parâmetros Visualizações musicais

Neste sentido, o resultado destes valores estão devidamente parametrizados de acordo com as proporções definidas para as estruturas visuais, embasados em testes de fidelidade e alterações que realizamos de acordo com as avaliações dos usuários em relação a leitura das visualizações. Até encontrarmos uma generalização adequada que evitava a poluição gráfica e diminuía a dificuldade em alguma leitura de informação.

Assim como demonstramos na figura 90 ao permitimos a variação visual do volume de dados ao utilizarmos proporções de raio entre as tracks(pistas) < 100 o resultado gráfico pode ser confuso por estar sobrepondo informações e mantendo as formas e caminhos da assinatura do ritmo muito agrupadas. Por outro lado, ao aplicarmos um distanciamento

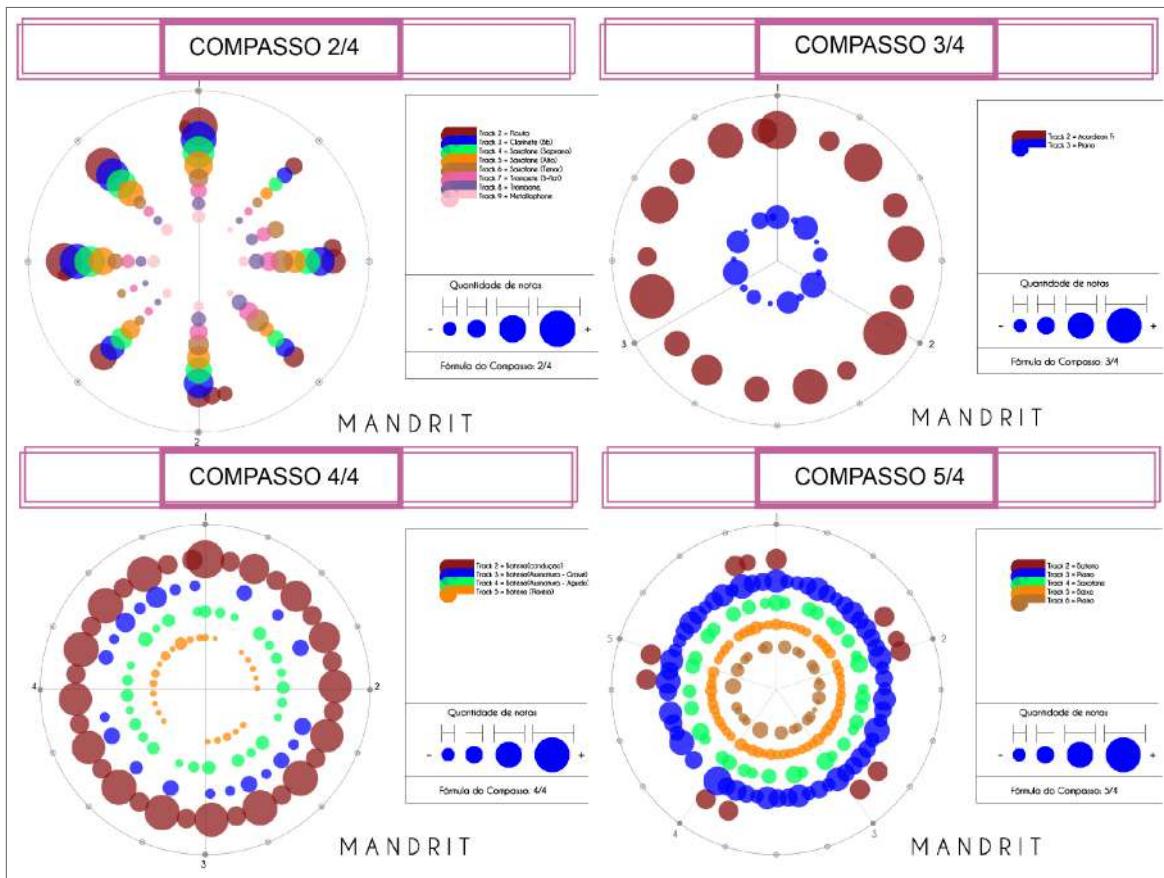
com o processamento do valor ≥ 100 as tracks(pistas) se organizam mais separadamente e demonstram melhor as formações dos seus polígonos.

Figura 90 – Variação



Músicas plotadas referenciadas por suas divisões dos compassos, obtendo os resultados da figura 91, compassos 2/4 com divisão da circunferência em 2 batidas como a música "Asa Branca- Luiz Gonzaga", 3/4 em 3 batidas na música "João e Maria - Chico Buarque", 4/4 em 4 batidas na música "Bateria 04" arquivo produzido por nosso colaborador, 5/4 em 5 batidas na música "Take five - Dave Brubeck" e assim sucessivamente variando de acordo com o compasso de cada música carregada.

Figura 91 – Referência do Compasso Parametrizada



Além disso também aplicamos parâmetros diretamente na organização dos dados musicais, obtendo como resultado nesta pesquisa a comprovação da implementação do elemento rítmico, através da parametrização de janelas de análise para estudo do Compasso, como demonstra os valores da tabela 10. Com estes valores padronizados permitimos que o usuário explore determinadas propriedades do ritmo e verifique a regularidade de cada ciclo do compasso.

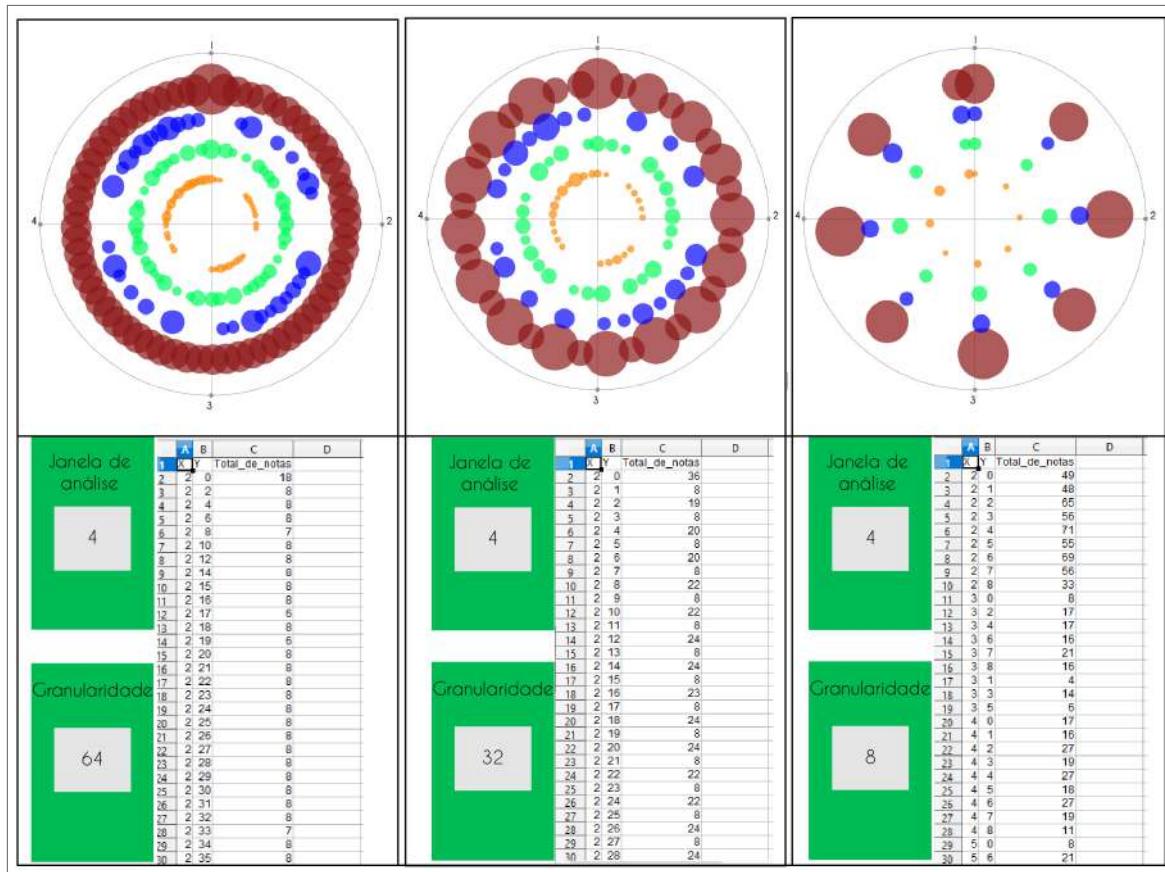
Fórmula do Compasso	Tiques por Compasso	Janela Análise
2/4	2000.0	4000.0
3/4	3000.0	9000.0
4/4	4000.0	16000.0
5/4	5000.0	25000.0

Tabela 10 – Parametrização Janela de Análise

Obtendo esses valores quantizados para geração da visualização de acordo com cada compasso, também implementamos o parâmetro de granularidade, que permite o usuário definir em qual regularidade deseja visualizar a música. Auxiliando na identificação e personalização da geração da visualização, como demonstra a figura 92 com a API de extração dos dados musicais obtemos os metadados do ritmo e com as subdivisões do com-

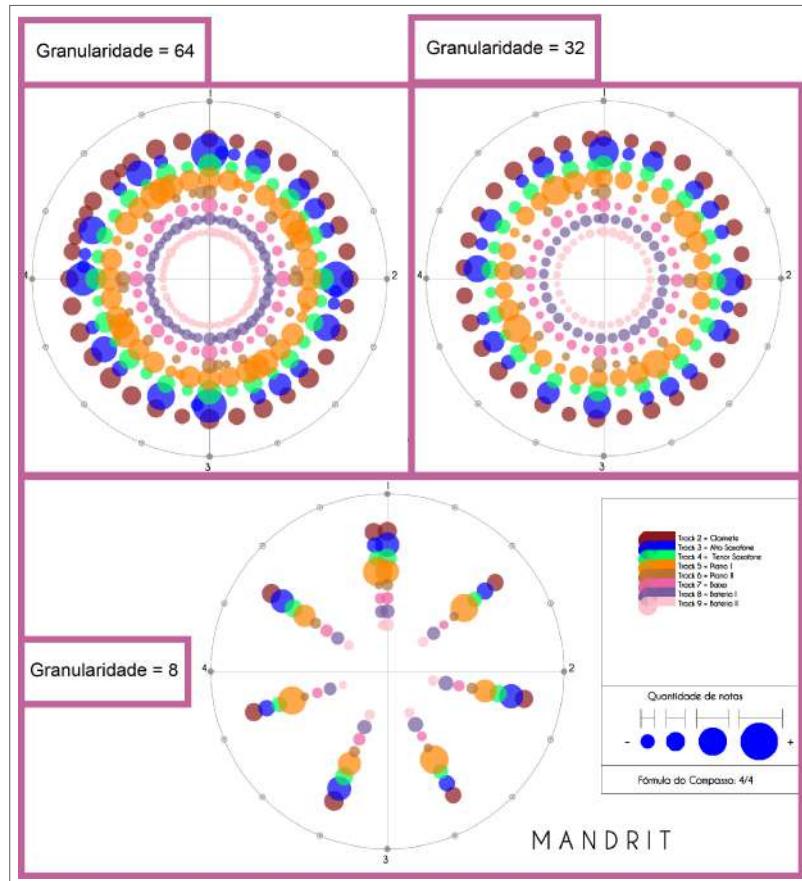
passo em relação a janela de análise e granularidade determinadas pelo usuário plotamos estas informações musicais incorporando-as nas formas gráficas diretamente no *Front-End* e gerando as visualizações musicais do Mandrit.

Figura 92 – Parametrização da granularidade



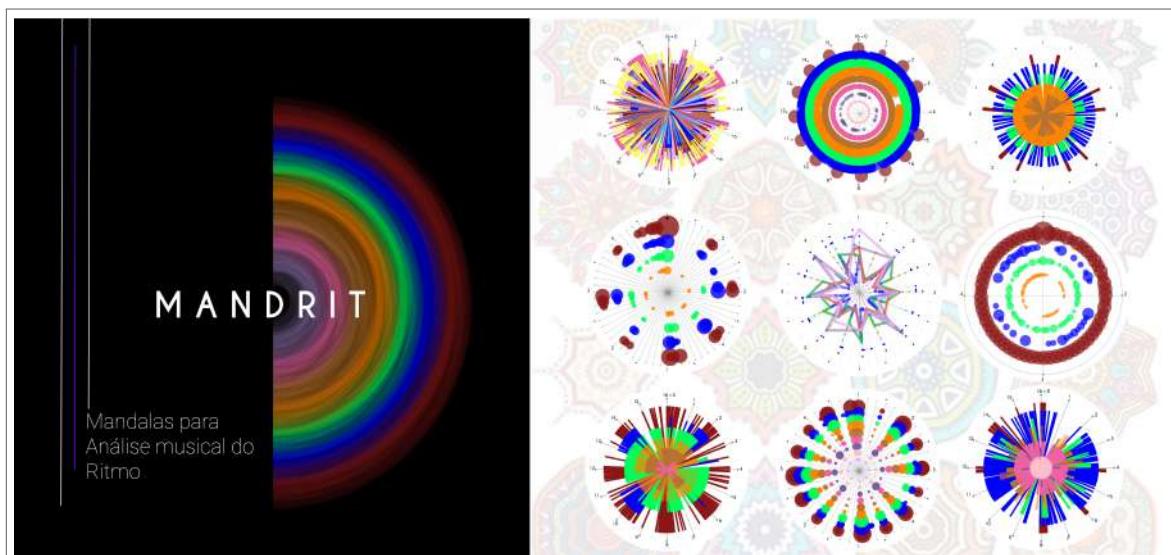
Com este resultado conseguimos perceber, que o ajuste da granularidade melhorou a visualização estática e a sua comunicação visual fica mais clara do ponto de vista explicativo em relação a quantidade de informações plotadas, pois agrupamos as subdivisões de tempo que possuem valores próximos. No entanto, quando a granularidade é tão grosseira como no exemplo "granularidade = 8", ela acaba acumulando muitos dados e perdemos informações importantes, resultando em um gráfico com poucos detalhes. Ainda assim permitir que o usuário personalize e manipule essa informação é essencial para que a visualização seja explicativa e experimental. Como no caso da música "Garota de Ipanema - Tom Jobim", demonstrada na figura 93 que possui uma grande quantidade de instrumentos mas com aplicação da granularidade reduzimos sua poluição gráfica, aproximando valores de tempo com valores semelhantes isto melhorou as sobreposições da visualização estática, no entanto também perdemos algumas informações precisas do tempo.

Figura 93 – Visualização Musical- Garota de Ipanema



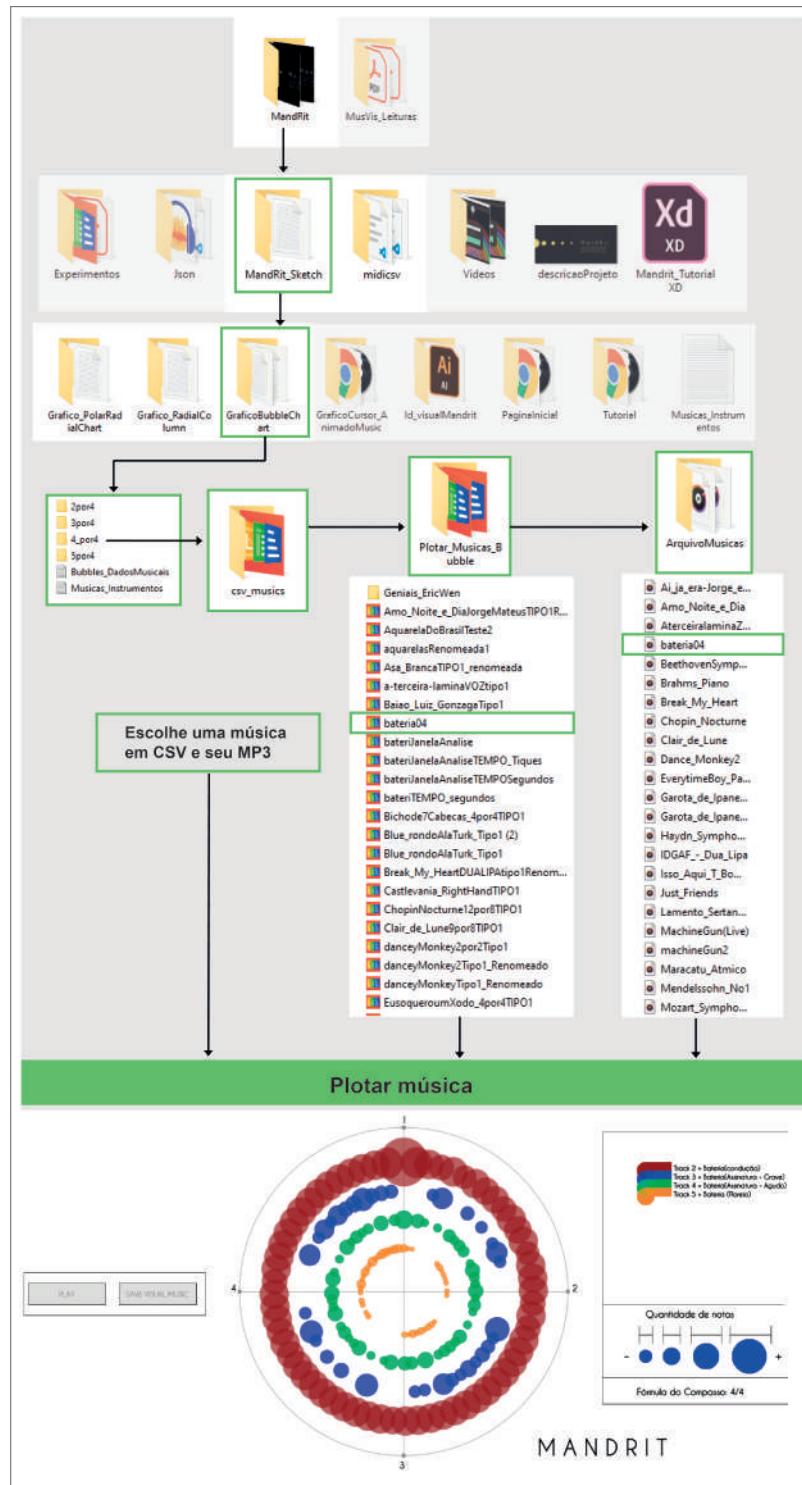
No Mandrit, toda identidade visual remete a junção do processo criativo de construção de uma visualização do ritmo, inspiradas pelas representações geométricas de mandalas que assim como o ritmo possuem características padronizáveis e trazem visualmente percepções de movimento mesmo sendo formas estáticas. Como demonstra a figura.

Figura 94 – Mandrit - Mandalas do Ritmo



Disponibilizamos todos estes resultados em uma base que armazena um conjunto visualizações já projetadas como exemplares de arquivos prontos e já estruturados em formato CSV. Ao utilizar a aplicação Mandrit, o usuário pode escolher alguma música, gerar sua visualização e salvá-la em formato de imagem para posterior análise, além de poder executar seu áudio para auxiliar no acompanhamento e leitura da visualização. O fluxo de execução desta primeira versão(0.1) está descrito pela figura 95 abaixo.

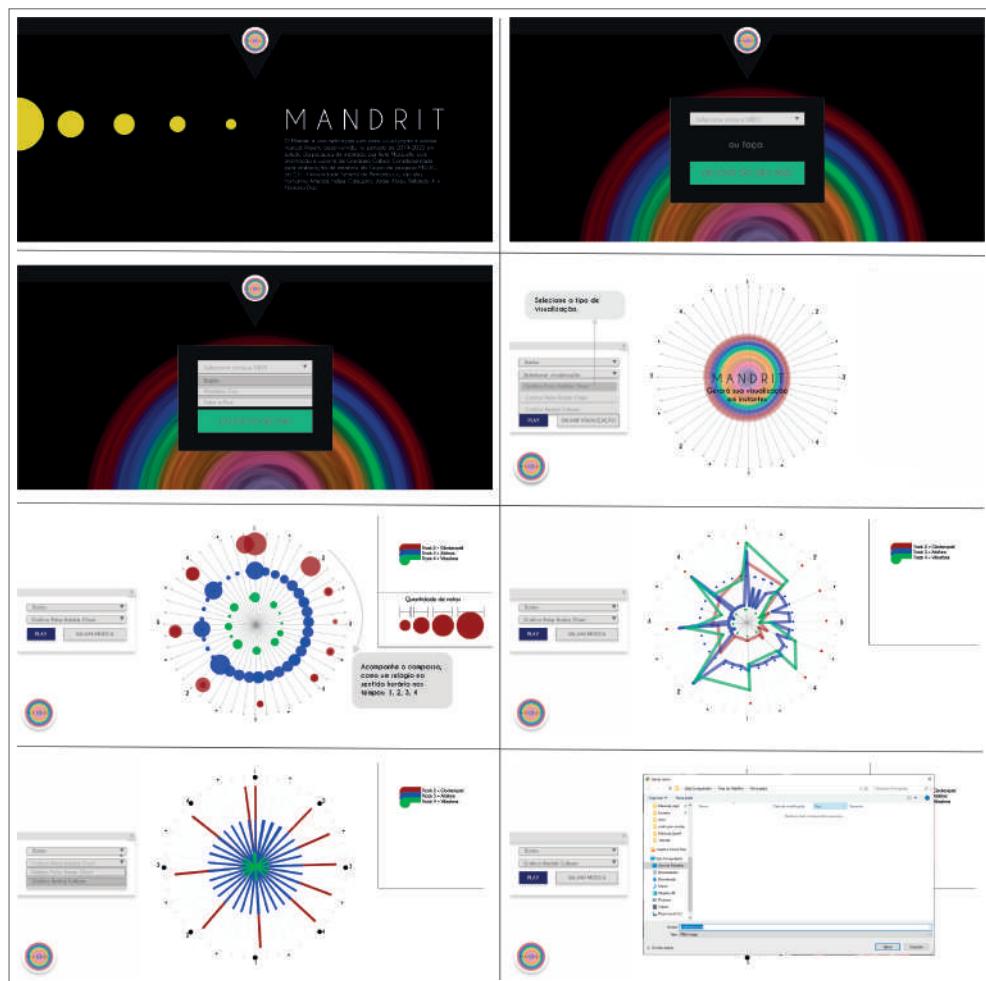
Figura 95 – Fluxo de Repositório Mandrit



Por fim, seu repositório pode ser acessado através do repositório do github³, tendo toda a base de dados dos arquivos gerados, em seus formatos de imagem e seus dados MIDI e CSV. Ao acessar esse repositório o usuário poderá abrir os arquivos já desenvolvidos mas também pode gerar suas próprias visualizações a partir de uma música escolhida e executando no sistema disponível nas pastas do repositório através da IDE do *Processing* e pela sua janela de exibição gerar sua visualização e analisar.

Também estamos desenvolvendo a sua versão web demonstrada na 96, para apresentar uma solução mais robusta com tutoriais explicativos e uma interface acessível para evitar qualquer dificuldade do usuário da comunidade de música que já enfrentam desafios na utilização dos recursos de software, que possam fazer diretamente o carregamento de seus arquivos MIDI a analisarem, e através dos parâmetros de modificação da visualização permitir que experimentem a geração de visualizações de maneira autônoma.

Figura 96 – Aplicação Mandrit



Além de possibilitar com o formato web a continuidade das análises através dos dados coletados pelo uso da ferramentada, permitindo avançar com estudos e melhorias. Os resultados gerais de todo processo de pesquisa e os métodos utilizados para construir

³ Mandrit: <https://zenodo.org/record/4118575>

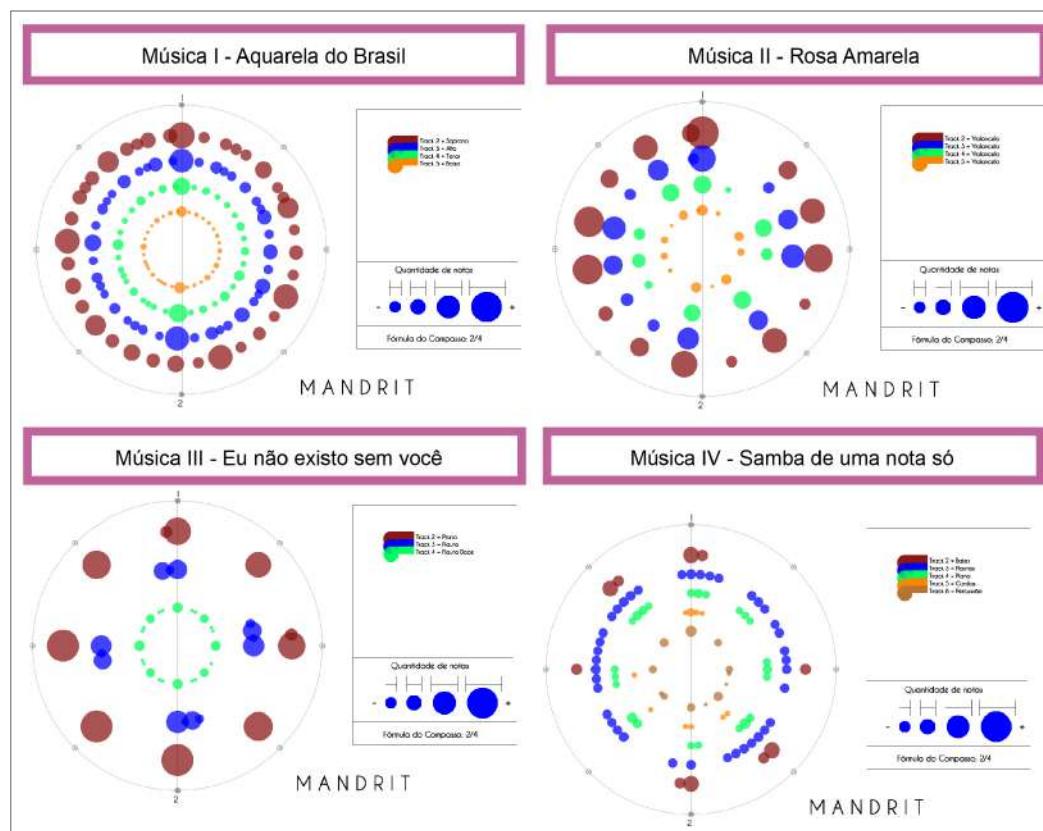
visualizações musicais, também são compartilhados via redes sociais a fim de socializar os resultados com a comunidade de música. Construindo uma troca pertinente das amplas possibilidades de utilizar a comunicação visual para facilitar e fomentar o engajamento da utilização de tecnologia, como meio para aprimorar técnicas e compreender informações musicais através de recursos visuais.

5.2.1 Visualizando músicas brasileiras com o Mandrit

As visualizações musicais geradas pelo Mandrit, possibilitaram identificar características macroestruturais em músicas brasileiras. Trazendo percepções que enriquecem o discurso da importância de estudo da música para valorização dos conceitos musicais e entendimento do seu aspecto rítmico. Além de possibilitar análises comparativas sobre as diversas variações, heterogêneas ou homogêneas com relação a elementos instrumentais, como a sincronização temporal e repetições sequenciais executadas nas obras musicais cada uma com sua originalidade.

O conjunto de informações representado pelo resultado das visualizações gráficas, demonstrou pela ocorrência temporal e das quantidade de notas suas relatividades em cada track(pista) da música, como exemplo os resultados gráficos da figura 97, todas músicas em compasso 2/4, mas com suas assinaturas representativas individuais que podem gerar diversas impressões qualitativas e interpretativas.

Figura 97 – Música Popular Brasileira

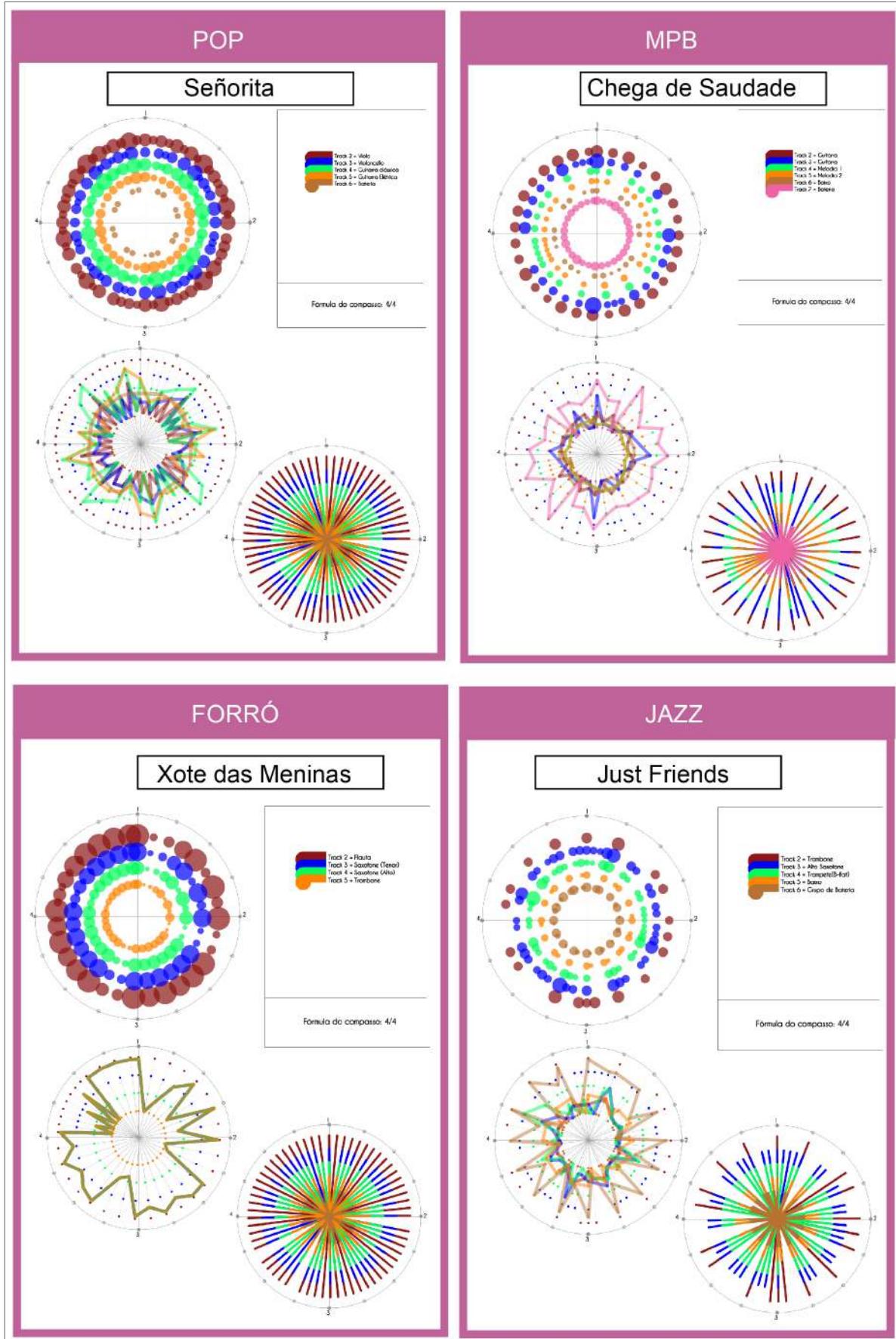


Descrevendo pela leitura da autora, a música I "Aquarelas do Brasil- Ary Barroso"uma das canções mais gravadas do Brasil, considerada clássicos da MPB, possui uma assinatura cíclica simétrica e bem demarcada nos quadrantes da área polar, enriquecida por diversas quantidades de notas durante todo ciclo temporal. E também pela maior presença de valores em determinados instantes representados pelos círculos demonstrados em dimensões maiores, o que é semelhante a música II "Rosa Amarela"de Villas Lobos em relação as suas temáticas de música popular que enfatizam a cultura e costumes e em relação a visualização exploram bem a área polar. No caso da música II ela possui uma temática de folclore infantil, encontramos seu arranjo com todas as tracks(pistas) de Violoncelo, o que nos trouxe provocações em relação a como analisar músicas mais precisamente e suas informações de instrumentos com o mesmo timbre. Consideramos que o desafio é analisar suas execuções individuais de acordo com a expressividade de cada músico. Até, conseguimos perceber fatores como a sincronia e busca notável pela estética musical regrável, familiar de uma sinfonia ou concerto, além do fator da execução instrumental do violoncelo que fornece o andamento e enriquece a dinâmica musical.

Já nas músicas (III) "Eu não existo sem você"de Tom Jobim e (IV) observamos na mesma métrica 2/4 das respectivas obras, visualizações simplificadas com uma visualização limpa conforme com seu ritmo de compasso simples.

Com uma grande quantidade de músicas geradas, e o armazenamento das imagens gráficas na base de dados do Mandrit, a autora realiza por fim um agrupamento por semelhanças e um estudo de gêneros musicais. Identificando nas visualizações influências musicais associadas aos gêneros músicas escolhidas do Pop que é "Señorita"de Shawn Mendes e Camila Cabello, do MPB com "Chega de Saudade"de Antônio Carlos Jobim, do Forró com "Xote das meninas"de Luiz Gonzaga e do Jazz com "Just Friends"de John Klenner. Como demonstrado na figura 98 abaixo:

Figura 98 – Gêneros Musicais



Todas as músicas da análise comparativa estão na granularidade 64, e seus compassos são 4/4. O Polar Bubble Chart tem uma característica muito pontual em cada uma delas, e auxilia bastante no acompanhamento pois sua precisão cíclica em relação ao relógio musical traz noções de posicionamento das batidas do ritmo. Percebemos que o gráfico Polar Radar chart, demonstra bem as assinaturas do ritmo pelas diferentes formas convexas formadas nos diferentes tipos de gêneros musicais, no forró é notável a repetição instrumental pois todas as tracks(pistas) são sobrepostas. Além de ser possível perceber nas outras músicas um forte demarcação de algumas tracks(pistas) que estão mais acentuadas e excêntricas, as que formam polígonos mais ao centro são porque possuem menos quantidades de notas. Radial Column é semelhante para todas elas, não demonstrando suas diferentes características apesar de ser graficamente elegante, não é completo. Em síntese gêneros distintos são equivalente a visualizações diferentes graficamente.

Por fim, trazemos os dados quantitativos referentes aos resultados gráficos das análises musicais das visualizações do Mandrit. Onde 17 entrevistados, preencheram o último formulário de avaliação disponível online, trazendo suas impressões quanto potenciais usuários finais. Realizando a encontrabilidade das informações musicais, como demonstra o gráfico da figura 99 especialmente pela identificação das suas macroestruturas presentes nas visualizações a "ocorrências de notas" e "métrica", tiveram 58,8% da percepção do público equivalente a 10 pessoas. Apenas 3 (17,6%) participantes reconheceram a fórmula do compasso pelas visualizações e 4(23,5%) conseguiram perceber acentuações, métricas, duração de silêncios e o próprio compasso. Outros dois entrevistados conseguem perceber as sequências e a notas tocadas em síncope e apenas um deles consegue compreender todas as informações musicais na visualização.

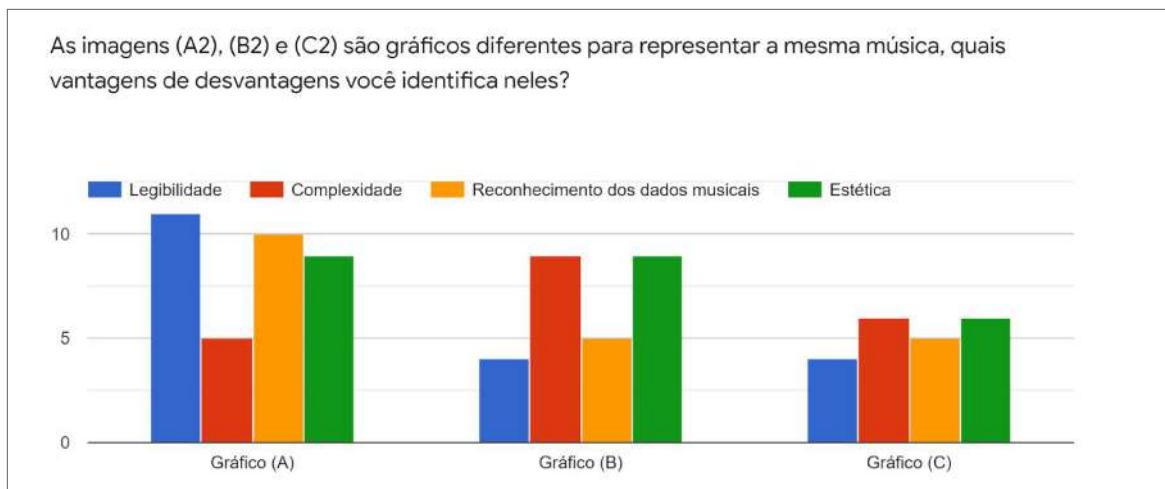
Figura 99 – Encontrabilidade Informações Musicais



Dante da imersão e reconhecimento dos três tipos de gráficos plotáveis no Mandrit, disponibilizamos avaliações seletivas referente propriedades representativas da visualização estática, considerando os critérios de Legibilidade, Complexidade, Reconhecimento

dos dados musicais e Estética das visualizações, os resultados são demonstrados na figura 100.

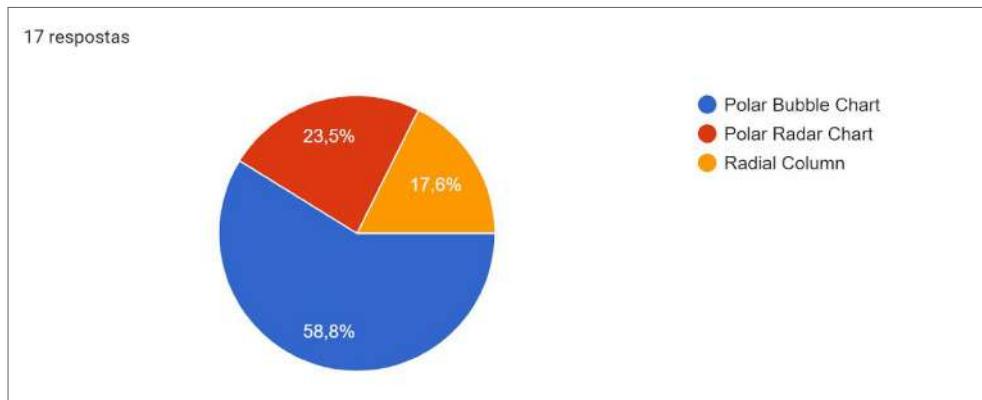
Figura 100 – Resultados representativos



Em resumo o Polar Bubble Chart (A), é considerado legível, pouco complexo e com boa estética e é possível reconhecer seus dados musicais, já no Polar Radar Chart (B) sua legibilidade é pouco considerada, assim também é mais complexo de analisar e consequentemente difícil de reconhecer alguns dados musicais, apesar disso sua estética é valorizada pela maioria. No entanto o Radial Column (C) tem uma avaliação negativa como um todo, um dos participantes relata que o gráfico de barras de maneira cíclica se torna muito confuso. Assim não é considerado legível, apesar da estética ter sido valorizada por alguns analistas consideram que através dele não reconhecem bem os dados musicais apesar de ser considerado pouco complexo.

Quando questionados sobre quais das três visualizações geradas pelo Mandrit os participantes consideraram mais comunicativo/informativo 58,8% dos participantes selecionaram o Polar Bubble chart como o mais intuitivo de associar a informação musical com a visual. No entanto 23,5% deles também consideraram o Polar Radar Chart pela sua estética que demonstra os aspectos musicais em formato de polígonos, mesmo considerando sua complexidade caótica, afirmam que músicas possuem muitas informações o que condiz com o gráfico. E ainda 17,6% dos participantes consideraram o Radial Column como mais comunicativo e informativo.

Figura 101 – Avaliação do Bubble Chart



Sabendo que o cortéx visual é extremamente poderoso para nos ajudar a reconhecer padrões, concluímos que a compreensão dos dados musicais com o uso de representações visuais são muito úteis para permitir explorar conceitos complexos na música. Além de permitir provocações explicativas e práticas com os resultados das visualizações, transpondo a barreira existente entre a comunidade acadêmica e o público geral, por isso durante todo o processo e ao final valorizamos o processo de troca com colaboradores e buscamos nos conectar com pessoas da área permitindo também reflexões criativas do acesso a estas informações.

5.3 DISCUSSÕES RESULTADOS

Realizamos toda esta investigação tendo como objetivo trazer respostas factuais sobre o processo de comunicação visual de informações musicais. E em todo desenvolvimento desta pesquisa percebemos a necessidade de centralizar os objetivos técnicos e reconhecimento dos conceitos musicais para o desenvolvimento de visualizações musicais. O planejamento e aplicação da metodologia foram essenciais e norteadores para realizarmos a imersão nas problemáticas na área de música.

Por isso enfatizamos sobre a importância de priorizar potenciais usuários como centro de todo processo de criação de um sistema. Com a aplicação do modelo de protocolo experimental disponibilizado, percebemos que os ciclos de avaliações por *feedbacks* possibilita enriquecer a solução com uma aprendizagem compartilhada entre profissionais envolvidos. Reforçando a importância de pesquisas multidisciplinares com abordagem qualitativa, coleta de impressões e principalmente trazendo perspectivas e habilidades diferentes dos participantes que agregam valor científico a experimentação e aos processos de criação de sistemas.

Com as análises musicais, por exemplo, obtivemos resultados que melhoraram todo o processo de pesquisa, pois as sugestões e melhorias do ponto de vista de crítico, e visões externas a equipe trouxeram contribuições para generalização e entendimento da aplicabilidade musical a cada experimento. A pesquisa com usuários é fundamental ser

composta por colaboradores multidisciplinares para comunicação e troca de informações que auxiliem e agreguem valor aos resultados.

Além de fazer refletir sobre a diversidade e inovação tecnológica voltados para os processos criativos, trazendo a importância de envolvimento de habilidades diferentes que unam-se por serem áreas de pesquisa complementares. Com isso foi possível constatar que ao trabalhar com dados musicais além de ser necessário estudos multidisciplinares, é preciso estar apto a resolver problemas com desenvolvimento de seus sistemas para que sejam notadas estas visões multidisciplinares baseadas em experimentos plurais.

Que foquem em envolver os pesquisadores aos agentes da pesquisa, ou seja, aproximar os usuários reais que sejam especialistas das respectivas áreas do objeto de estudo, em nosso caso os músicos. Enriquecendo e trazendo valor aos resultados de pesquisa, com percepções e recursos diferentes, como relatos e falas considerando argumentos e aprendizagens únicas.

Então concluímos que as discussões guiadas trouxeram contribuições muito relevantes para documentar e avaliar características elementares na música, além de auxiliar seja com o desenvolvimento de coleções visuais das representações musicais. Como também incluímos no repositório deste projeto a criação de uma base de leitura com referências para investigadores e explanações futuras na área de MuVis. Buscando amplificar o acesso a informação musical, mostrando que é possível facilitar processos pelo apoiado da tecnologia e pela comunicação visual de informações musicais para compreensão de determinados conceitos complexos na música.

5.4 LIMITAÇÕES DO ESTUDO

Com este estudo notamos que existem diversas limitações para criações de visualizações parametrizadas da informação musical, especialmente na representação do ritmo. Com o desenvolvimento do sistema Mandrit em seu processo de automatização enfrentamos algumas dificuldades relacionadas ao processamento de dados musicais que nem sempre é aplicável e generalizado a qualquer produção musical, ou seja, as dependências técnicas são diversas desde a precisão do músico em organizar o arquivo MIDI corretamente.

O caminho mais possível que encontramos foi de utilizar arquivos acompanhados de suas partituras e seus formatos em MP3, para obtermos o máximo de informação em cada produção, como a descrição de seus instrumentos. Apesar disso, ainda encontramos arquivos de músicas totalmente desordenados tendo que renderizá-los para organizar toda informação, todo esse processo até mesmo de reorganização pode ser ainda mais problemático pois qualquer alteração resulta em dados quantificados passíveis de erros, principalmente por seu elemento temporal que pode ser comprimido e ter sua sequência desordenada.

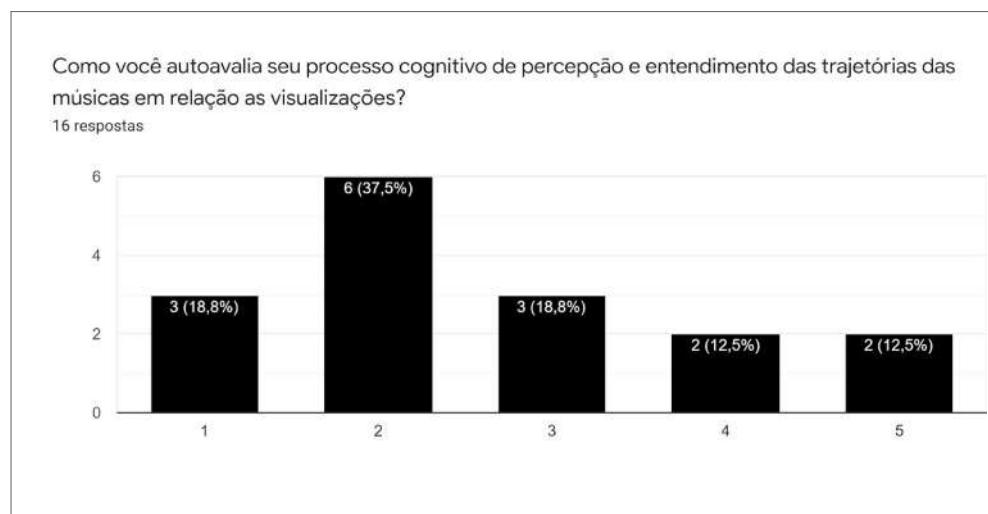
As visualização estática, possui vantagens em relação a permitir visualizar uma síntese musical. No entanto as limitações em sua compreensão são diversas, como vimos nas coletas de *feedbacks*, em muitos casos das músicas plotadas o resultado gráficos fora considerado complexo pelo acúmulo de informações na visualização estática. Não auxiliando no acompanhamento em determinadas músicas, e dificultando o reconhecimento da informação temporal. Por isso verificamos a necessidade de melhorias atribuídas as visualizações musicais do Mandrit que são descritas na tabela 11.

Melhorias Mandrit	Limitações da Versão (0.1)
Permitir acompanhamento da música em tempo real	Visualização estática
Implementar cursor para andamento	Valores do BPM não processados
Processar os dados da velocidade das notas	Excesso de dados e Poluição gráfica
Incluir interações para selecionar e ocultar tracks	Alterações manuais em código
Integrar API Mandrit no formato web	Em desenvolvimento

Tabela 11 – Desafios de Automatização da Representação

No processo de avaliação e comunicação entre os potenciais usuários do sistema Mandrit, observamos dificuldades na leitura dos gráficos pois cada informação gráfica exige noções de assimilação da representação, como por exemplo orientação espacial. Sendo considerado um processo de aprendizagem de cada propriedade visual impressa nas visualizações musicais. E a não familiaridade de alguns profissionais de música com recursos visuais, como demonstra a figura 102.

Figura 102 – Desafios cognitivos da Visualização estática



Onde a maioria que fez uma autoavaliação apresentam alguma dificuldade no processo cognitivo de associação dos conceitos visuais em função dos musicais. Consideramos que

a visualização estática tenha sido um grande complicador, além de que as pessoas tem a necessidade em perceber a dinâmica musical ao ouvir a música ainda mais por termos incluído vídeos com tutoriais explicativos executando alguns sons para auxiliar na leitura da visualização estática com suas devidas legendas e descrições. O que incentivou a leitura e análise musical pelo movimento, o qual não implementamos naquele momento. No entanto parte do grupo respondente comprehende o nosso objetivo de reunir nas visualizações um conjunto de informações do ritmo agrupadas como um quadro da assinatura musical.

Tudo isto só aponta para o quanto são necessários e complementares a melhoraria constante desta comunicação entre os colaboradores. Buscando fazer os usuários entenderem mais intuitivamente todos os elementos gráficos e musicais, especialmente como ferramenta para análise musical que exige noções mais conceituais e vivências musicais.

Apesar de enfatizarmos a importância das equipes e os estudos multidisciplinares, as limitações desta pesquisa por parte do desenvolvimento da aplicação Mandrit também estão relacionadas com o desafio que é a exploração destas grandes áreas em conjunto: Música, Computação, Design e Visualização de Informação. Pois, há uma grande problemática que é a não comunicação destas áreas entre si. Pois trabalham de maneira muito independentes, e quando decidimos uni-las exigiu também graus de esforço.

Por exemplo, para termos acesso a bases de dados ou sistemas de análises musicais, há necessidade de conhecimento de técnico de programação, ou seja dificulta, que músicos por exemplo utilizem tal recurso. Assim como as estruturas musicais, que exigem leituras de densos conceitos de teoria musical, desde análise, estética, notações e todos seus elementos. Ou seja, demandam curvas de aprendizagem e tempo mais extensos em relação a conceitos fundamentais a ser apreendidos pelo pesquisador.

Com este fato de que essas áreas não se conversam, trazemos como síntese das dificuldades que enfrentamos na comunicação com os potenciais usuários finais da área de música. Pois durante os processos de avaliação, existia a necessidade de ocorrer vários encontros para agregar valor aos resultados gráficos e obter coleta de constantes *feedbacks*, mas na prática gerou por muitas vezes dependências técnicas estendendo o tempo planejado pois nem sempre tínhamos retornos rápidos. As melhorias das visualizações por muitas vezes foram adiadas, entendemos que é resultado dos experimentos densos e longos, mas necessários para obter o máximo de precisão. Além de percebemos o receio dos profissionais de música por criarem algumas barreiras quanto a aproximação da tecnologia e dos recursos de software em seu contexto.

Então, é extremamente importante debruçamentos e criações de sistemas e ferramentas que solucionem e conectem estes desafios, que busquem facilitar a comunicação entre informações técnicas, com as informações musicais que se alinhem com as visuais. Além das melhorias internas do próprio Mandrit, que continua em desenvolvimento para sua versão de plataforma web, ou seja enfrenta desafios em suas integrações entre os programas criados para leituras de arquivos MIDI, extração de seus dados, e o seu gerador de

visualizações musicais. Que possam aproximar o processo de criação de visualizações pelos próprios profissionais de música e de produções acessíveis de maneira automática.

Percebemos como lacunas algumas limitações da Visualização Estática em relação as informações musicais, que apesar de ter seus pontos positivos em sintetizar uma imagem gráfica da música, ela também dificulta a utilização de elementos simultaneamente, de acontecimentos ao longo do tempo da música e principalmente do movimento musical, que foi tão relatado pelos *feedback*. Pois com ele percebemos aspecto da duração, da intensidade, porém estas informações são metadados que exigem especificações para serem extraídas dos arquivos MIDI com o seu *velocity*. Aqui nesta pesquisa não foi possível implementar essa informação pois a expressividade não foi trabalhada nas visualizações do Mandrit. Consideramos por meio de testes que seu volume de valores em um determinado tempo exigiria uma outra estrutura visual para representação para não ocorrer mais sobreposições no gráfico, por isso buscamos filtrar o mínimo de informação para reduzir a poluição gráfica tendo como objetivo plotar assinaturas estáticas do ritmo.

Mas ressaltamos que consideramos a intensidade um importante elemento na estrutura musical, pois também define as métricas de duração, em relação ao ritmo enriquecendo ainda mais a marcação dos compassos binários, ternários, quaternários ou compostos. Dada estas limitações da visualização estática, é possível que outros experimentos com tipos de representações diferentes ou visualizações animadas e interativas por exemplo possam reduzir as problemáticas do acúmulo de dados em uma determinada área gráfica.

6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

6.1 CONCLUSÃO

A música em sua completude mostra-se como um meio de comunicação poderoso, e com este estudo identificamos a sua capacidade representativa, por meio de mapeamentos do processo criativo, e de modelos computacionais que trouxeram visões para explorações de novas formas de projeções gráficas das informações musicais e para melhorar sua comunicação. Com isto, percebemos a utilidade dos processamentos gráficos no contexto de construção das Visualizações de Informações Musicais pela criação de algoritmos de extrações, gerações personalizáveis e automáticas. Assim, passamos a compreender determinadas estruturas do ritmo tendo como base as visualizações, como a identificação de agrupamentos visuais e correspondências instrumentais em todo conjunto de informações que compõe as obras musicais, fazendo notar através das visualizações suas justaposições, correspondências, singularidades e complexidades.

As contribuições mais relevantes deste estudo, está no processo descritivo de como gerar visualizações musicais para permitir comunicar visualmente conceitos das informações musicais. Todas discussões levantadas no processo criativo da transposição das informações musicais em representações visuais, foram enriquecedoras e provocaram inquietações pela necessidade de explicar com estruturas visuais- cores, formas, texturas, tamanhos, opacidades e orientações-, algum conceito abstrato da música. As categorizações dos diversos tipos de visualizações possíveis para tratar a informação musical, também trazem visões de amplas possibilidades de exploração do recurso de software como um facilitador desta associação das informações musicais com a utilização de técnicas de projeções visuais. Durante o desenvolvimento do estudo de caso, consideramos que nesta área de Visualização Informação musical é primordial a formação de equipes multidisciplinares, pela importância de atrair e tornar a tecnologia como meio facilitador para apoiar artistas e profissionais de música com o desenvolvimento de ferramentas que permitam auxiliar na experimentação e criação de processos comunicativos dos conteúdos musicais.

Concluímos enfatizando a importância atual de agregar valor ao usuário em todo processo de construção de um sistema, principalmente na área de Música que as informações musicais estão diretamente relacionadas ao profissional, estudante ou artista de música e da maneira como apreendem os conceitos musicais. Por isso, nos processos criativos e ciclos de avaliação são essenciais uma colaboração participativa para solução de uma problemática levando em conta experiências reais. Por fim, com a aplicação Mandrit pretendemos dar continuidade a este estudo disponibilizando seu formato web para a comunidade de música explorar e realizar análises de visualizações de informações musicais de maneira mais acessível. Contudo, são diversos os desafios aprendidos e melhorias

necessárias no âmbito da transformação de dados musicais subjetivos e sua materialização enquanto objeto gráfico, especificamente da Visualização Estática que foi abordada com mais aprofundamento neste estudo.

6.2 TRABALHOS FUTUROS

Mesmo sabendo que os dados musicais, por vezes são abstratos e subjetivos, e possuem diversas limitações em ser parametrizados. Indicamos com esse estudo que é necessário o aprofundamento e continuidade a pesquisas como essa, a níveis mais avançados seja para experimentar animações, ou até mesmo as representações tridimensionais do ritmo. Enfatizando que utilizem dos recursos de software para facilitar a geração de visualizações e auxiliem no processo de análise musical e também para continuidade deste estudo voltado para Visualização de Informações musicais.

Além da representação, também podemos apostar na capacidade dos recursos computacionais como *machine learning*, um ramo da Ciência da Computação, para aprimorar a experiência com base em algoritmos. Então estudos como estes também são necessários para compreender melhor conceitos complexos, como por exemplo os processos humanos de ideação abordados nesta pesquisa. E dar capacidade a tecnologia que em sua constante evolução auxilia a perceber, tomar decisões e resolver problemas, especialmente para o tratamento de conteúdos musicais inclusive com o reconhecimento de padrões musicais. A transcrição musical pode ser uma outro aspecto desafiador na criação de visualizações, como animações afim de explorar a dinâmica musical.

Tendo vista a capacidade computacional e o alcance de aplicações tecnológicas que potencializem o estudo da Música, sugerimos a comunidade acadêmica aprofundamentos a investigação das possibilidades de experimentação de informações musicais. Enfatizamos com esta pesquisa métodos para parametrizar a música, com os resultados é possível perceber caminhos interessantes para provocar inovações encaminhadas também para aplicações mais técnicas, como automatização de conjuntos instrumentais que são a base de arranjos musicais, processos compostionais, mapeamento de tracks(pistas) individualmente.

Por fim, denotamos que explorações experimentais continuadas, trazem mais riqueza de detalhes as possibilidades representacionais das informações musicais. E através delas identificamos o potencial comunicativo das informações em suas macroestruturas, até parametrizá-las e mapeá-las a partir de processos cílicos de testes e retests. Então podem haver diversas possibilidades de automatizar outras informações como por exemplo a base da musical de acordo com a intensidade, progressões de secções rítmicas também chamada de "cozinha" pelos músicos. Em conclusão transformar essas informações musicais em gerações automáticas de visualizações, que permitam através dos dados musicais comunicar e facilitar apreensão e análise musical buscando favorecer processos com profissionais do meio musical.

REFERÊNCIAS

- ALVES, M. C. Visualização de informação para simplificar o entendimento de indicadores sobre avaliação de ciência e Tecnologia. 2015. Disponível em: <<https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/1151/6802.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>.
- BARROS, C. M. d.; CAFÉ, L. M. A. Estudos da Semiótica na Ciência da Informação: relatos de interdisciplinaridades. *Perspect. ciênc. inf.*, v. 17, n. 3, p. 18–33, set. 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1413-99362012000300003>>.
- BITTNER, R.; SALAMON, J.; TIERNEY, M.; MAUCH, M.; CANNAM, C.; BELLO, J. MedleyDB: A Multitracks Dataset for Annotation-Intensive MIR Research. p. 6, 2014. Disponível em: <<http://archives.ismir.net/ismir2014/paper/000322.pdf>>.
- BORGES, J. P. F. *Tendências Computacionais: Uma proposta de exposição sobre a programação como meio criativo no design e na arte*. [S.l.]: Trabalho de conclusão de Curso - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.
- BRASIL, S. d. E. F. *Parâmetros Curriculares Nacionais: Arte*. MEC/SEF, 1997. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/livro06.pdf>>.
- BRAUN, Pierre. Un carnet de recherche proposé par Hypothèses, *Les Esquisses pédagogiques de Paul Klee.(1925) Une remédiation*. 2017. Disponível em: <<https://computerdrawing.hypotheses.org/920>>.
- BREGMAN, A. S.; MCADAMS, S. *Auditory Scene Analysis: The Perceptual Organization of Sound*. The Journal of the Acoustical Society of America, v. 95, n. 2, fev. 1994. ISSN 0001-4966. Disponível em: <<http://asa.scitation.org/doi/10.1121/1.408434>>.
- BROWN, T. *IDEO: Design Thinking*. 2018. Disponível em: <<https://designthinking.ideo.com/>>.
- CABRAL, G.; WILLEY, R. Analyzing Harmonic Progressions with HarmIn: the Music of Antônio Carlos Jobim. p. 12, 2007.
- CAMPOS, L. F. d. B. METADADOS DIGITAIS: revisão bibliográfica da evolução e tendências por meio de categorias funcionais. n. 23, p. 31, 2007. Disponível em: <<https://brapci.inf.br/index.php/article/download/11673>>.
- CANTAREIRA, G. D. *Visualização computacional de música com suporte à discriminação de elementos de teoria musical*. Tese (Mestrado em Ciências de Computação e Matemática Computacional) — Universidade de São Paulo, São Carlos, dez. 2014.
- CANTAREIRA, G. D.; NONATO, L. G.; PAULOVICH, F. V. MoshViz: A Detail+Overview Approach to Visualize Music Elements. *IEEE Trans. Multimedia*, v. 18, n. 11, p. 2238–2246, nov. 2016. ISSN 1520-9210, 1941-0077. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7577795/>>.
- CARD, S.; MACKINLAY, J.; SHNEIDERMAN, B. *Readings in Information Visualization: Using Vision to Think*. SP: JO - Information Visualization - IVS, 1999.

- CASAGRANDE, L. *Os Três Elementos Fundamentais da Música*. 2019. Disponível em: <<https://musicaliturgicaonline.com.br/os-tres-elementos-fundamentais-da-musica/>>. Acesso em: 10 de Dezembro de 2019.
- CASSOLI, L. *Preguiça e Genialidade: A Música de hoje*. 2015. Disponível em: <<https://monkeybuzz.com.br/materias/preguiaca-e-genialidade-a-musica-de-hoje/>>.
- CAVALCANTI, H. C. *Da partitura Musical: Um olhar estético a preservação da memória*. Dissertação (mestrado) - UFPE, Centro de Artes e Comunicação, Programa de Pós-graduação em Ciência da Informação, 2013. 158 p. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/10425>>.
- CÉSAR, M. M. *Texto Sonoro e Partitura Gráfica: Apesctos Intersemióticos e enunciativos*. Tese (Doutorado) — Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.
- CHRISPIM, J.; LEME, M.; REPSOLD, M.; REPSOLD, M. *Apostila de Educação Musical: Campus Humaitá II 7º ano do Ensino Fundamental*. Portal CPII Educação Musical, 2018. Disponível em: <<https://www.educamusicacp2.com.br/apostila-7ano>>.
- CICHOWLAS, A.; LAM, T. blog, *Explore the history of Pop – and Punk, Jazz, and Folk – with the Music Timeline*. 2014. Disponível em: <<https://ai.googleblog.com/2014/01/explore-history-of-pop-and-punk-jazz.html>>.
- Cifra Club. *Mais acessados de rock*. 2020. Disponível em: <<https://www.cifraclub.com.br/estilos/rock/>>.
- CISZEWSKI, W. S. Notação musical não tradicional: *Música na educação básica*, v. 2, n. 2, p. 12, 2010. Disponível em: <http://abemeducacaomusical.com.br/revista_musica/ed2/pdfs/MEB2_artigo2.pdf>.
- COSTA, C. C. d. Um método de ensino de construção de infográficos baseado no visual thinking e no design thinking. In: *Proceedings of the 7th Information Design International Conference*. Brasília, Brasil: Editora Edgard Blücher, 2015. p. 294–304.
- COSTA, M. D.; COSTA, A. P. d. A. *Geometria Gráfica Tridimensional: Sistemas de Representação*. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 1996. v. 1.
- COUTINHO, E. F.; GOMES, G. A. M.; JOSE, M. L. A. Applying design thinking in disciplines of systems development. In: *2016 8th Euro American Conference on Telematics and Information Systems (EATIS)*. Cartagena: IEEE, 2016. p. 1–8. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7520123>>.
- COX, S. *Is there a formula for creating an iconic pop song?* 2015. Disponível em: <<https://www.gold.ac.uk/news/iconic-pop-songs/>>.
- CRAUWELS, K. *Musicmap: The Genealogy and History of Popular Music Genres from Origin till Present (1870-2016)*. 2016. Disponível em: <<https://musicmap.info/>>.
- CUTHBERT, M. S.; ARIZA, C. music21: A Toolkit for Computer-Aided Musicology and Symbolic Music Data. p. 7, 2010. Disponível em: <<http://ismir2010.ismir.net/proceedings/ismir2010-108.pdf>>.

DAHIA, M. L. d. M. *Gerando Acompanhamento Rítmico Automático para Violão: Estudo de caso do Cyber-João*. Universidade Federal de Pernambuco, 2004. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/2535>>.

EDMPROD. *The Ultimate Guide to Writing Better and More Memorable Melodies2019*. 2019. Disponível em: <<https://www.edmprod.com/ultimate-melody-guide/>>. Acesso em: 05 de Maio de 2019.

FILHO, J. G. *Gestalt do Objeto: Sistema Visual de Leitura da Forma*. 8. ed. São Paulo: Escrituras, 2008. ISBN 9788586303577. Disponível em: <<https://graficovisual.files.wordpress.com/2013/11/gestalt-do-objeto-joao-gomes.pdf>>.

FILHO, N. E. S.; GONCALVES, B. A.; OLIVEIRA, V. T. Música para estudantes de engenharia: Síntese sonora de tema de jazz. v. 37, n. n. 2, p. 10, 2015. Disponível em: <www.sbfisica.org.br>.

FORNARI, J. *Da música à musicologia*. 2019. Disponível em: <<https://www.blogs.unicamp.br/musicologia/2019/01/02/1/>>. Acesso em: 05 de Abril de 2019.

FREITAS, C. M. D. S.; CHUBAHI, O. M.; LUZZARDI, P. R. G.; CAVA, R. A. Introdução à visualização de informações. *RITA- Revista de Informática Teórica e Aplicada*, VIII, n. 2, p. 16, 2001. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/19398>>.

FUTRELLE, J.; DOWNIE, J. S. Interdisciplinary Research Issues in Music Information Retrieval. *Journal of New Music Research*, v. 32, n. 2, p. 121–131, jun. 2003. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1076/jnmr.32.2.121.16740>>. Acesso em: 06 de fevereiro de 2019.

GAEBLER, D. M. Colocando em prática o Design Thinking: ferramentas projetuais para inovar com sucesso. In: *International Conference on Design, Engineering, Management for innovation*. Florianópolis | SC | Brasil: [s.n.], 2015. IV, p. 13. ISBN 978-85-8302-061-5. Disponível em: <<http://www.idemi2015.udesc.br/anais-idemi-2015/>>.

GRAEFF, N. *Os ritmos da roda: tradição e transformação no samba de roda*. Salvador: EDUFBA, 2015.

HARTMANN, E. Apontamentos sobre as premissas estéticas Modernas e Pós-modernas nas sonatas para piano de Claudio Santoro: modelos de Leonard Meyer. *Journal of the Brazilian Society for Music Theory and Analysis*, v. 3, n. 2, p. 104–124, 2018.

HEIN, E. *Designing the Drum Loop: A constructivist iOS rhythm tutorial system for beginners*. Tese (Doutorado) — Steinhardt School of Culture, Education, and Human Development, New York University, 2013.

HUYNH, V.; COMBERG, D. *MusicVis a web application for visualizing sound*. 2017. Disponível em: <<https://tvanhuynh.github.io/musicvis/>>.

JACOMÉ, J. *Sistemas Interativos de Tempo Real para Processamento Audiovisual Integrado*. [S.l.]: Dissertação de mestrado Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.

- KNAFLIC, C. N. *Storytelling with Data: A Data Visualization Guide for Business Professionals*. United States of America: Wiley, 2015. 284 p. ISBN 978-1-119-00226-0. Disponível em: <<http://www.bdbanalytics.ir/media/1123/storytelling-with-data-cole-nussbaumer-knaflic.pdf>>.
- KRÖGER, P.; PASSOS, A.; SAMPAIO, M.; CIDRA, G. de; OURIVES, N. d. S. Musicologia computacional aplicada à análise dos corais de Bach. p. 6, 2008.
- LAMBERT, R. blog, *Música: Como explicar?* 2018. Disponível em: <<https://terradamusicablog.com.br/musica-como-explicar/>>.
- LAST.FM. *Lastfm*. 2020. Disponível em: <<https://www.last.fm/>>.
- LEOPOLD, C. Sound-Sights An Interdisciplinary Project. *Nexus Netw J*, v. 8, n. 1, p. 123–131, jun. 2006. ISSN 1590-5896, 1522-4600. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s00004-006-0012-z>>.
- LESAFFRE, M.; VOOGDT, L. D.; LEMAN, M.; BAETS, B. D.; MEYER, H. D.; MARTENS, J.-P. How potential users of music search and retrieval systems describe the semantic quality of music. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, v. 59, n. 5, p. 695–707, 2008. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/asi.20731>>.
- MACHADO, A. *Tradutor de arquivos MIDI para texto utilizando linguagem funcional CLEAN*. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2001. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/28941>>.
- MALANDRINO, D.; PIROZZI, D.; ZACCAGNINO, R. Visualization and music harmony: Design, implementation, and evaluation. In: *2018 22nd International Conference Information Visualisation (IV)*. Fisciano, Italy: IEEE, 2018. p. 498–503. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8564210>>.
- MALINOWSKI, S. *Music Animation Machine Renderers*. 2012. Disponível em: <<http://www.musanim.com/Renderers/>>.
- MANOVICH, L. O que é visualização? v. 8, n. N° 1, 2011. ISSN 1984-6924.
- MARQUES, F.; FLORES, P.; SOUTO, A. P. Desenho e Representação Gráfica: Introdução ao desenho técnico. In: _____. Universidade do Minho: Escola de Engenharia: [s.n.], 2017. v. 1. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/319516539_Desenho_e_Representacao_Grafica_-_1_Introducao_ao_Desenho_Tecnico>.
- MARTINEZ, J. L. Música, semiótica musical e a classificação das ciências de Charles Sanders Pierce. n. 6, 1999. ISSN 1517-7017. Disponível em: <<https://anppom.com.br/revista/index.php/opus/article/viewFile/66/52>>.
- MARTINS, N. Ritmos do maracatu na Música Brasileira Contemporânea: estudo de caso do “Maracatu” para piano, de Egberto Gismonti. *SIMPOM - SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PÓS-GRADUANDOS EM MÚSICA*, n. III, p. 8, 2014.
- MATTOS, F. L. D. *Análise Musical: Apostila*. 2006. Disponível em: <https://hugoribeiro.com.br/biblioteca-digital/Matos-Apostila_Analise_1.pdf>.

- MAURI, M.; ELLI, T.; CAVIGLIA, G.; UBOLDI, G.; AZZI, M. RAWGraphs: A Visualisation Platform to Create Open Outputs. In: *Proceedings of the 12th Biannual Conference on Italian SIGCHI Chapter*. New York, NY, USA: ACM, 2017. (CHItaly '17), p. 28:1–28:5. ISBN 978-1-4503-5237-6. Event-place: Cagliari, Italy. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/3125571.3125585>>.
- MEIRELLES, A.; STOLTZ, T.; LÜDERS, V. Da psicologia cognitiva à cognição musical: um olhar necessário para a educação musical. *Música em Perspectiva*, v. 7, n. 1, jun. 2014. ISSN 1981-7126. Disponível em: <<http://revistas.ufpr.br/musica/article/view/38135>>.
- MELO, M. *Expressão Musical: Andamento*. 2006. Disponível em: <<http://marcelomelloweb.net/expressaomusical.htm>>.
- MEYER, Leonard B. *Explaining Music: Essays and Explorations*. 1. ed. University of Chicago: [s.n.], 1973.
- MICHELS, U. *Atlas de Musica*, 1. Madrid: Alianza Atlas, 1987. v. 1.
- MIDI MUSIC COLLECTION. *MIDI Music with words*. [S.I]: [s.n.], 2019. Disponível em: <<http://www.midi-karaoke.info/>>.
- MONTEIRO, M. B.; MACHADO, N. R.; NOGUEIRA, P. A. L.; CAMPOS, T. A.; CRUZ, F. W.; FERNEDA, E. Um sistema de recomendação de músicas brasileiras. n. 12, p. 4, 2009. Disponível em: <<http://compmus.ime.usp.br/sbcm/2009/papers/sbcm-2009-16.pdf>>.
- MORAES, J. J. *O que é Música*. 2º. ed. Editora Brasiliense, 1983. (Coleção primeiros passos). Disponível em: <https://hugoribeiro.com.br/biblioteca-digital/MORAES-O_Que_e_Musica.pdf>.
- MORAIS, C. d. P.; FIORINI, C. F. A teoria da Gestalt aplicada à música: considerações sobre o Nuevo Estudio Sencillo X – Omaggio a Stravinsky de Leo Brouwer. v. 25, n. 2, p. 22, 2019. Disponível em: <<https://www.anppom.com.br/revista/index.php/opus/article/view/opus2019b2511>>.
- MOUNTAIN, R. Periodicity and musical texture. In: *An Investigation of Periodicity in Music: With Reference to Three Twentieth-century Compositions: Bartok's Music for Strings, Percussion & Celesta Lutoslawski's Concerto for Orchestra Ligeti's Chamber Concerto*. University of Victoria, 1993, (Canadian theses on microfiche). Disponível em: <<http://armchair-researcher.com/Rooms/Research/Rooms/writings/articles/PeriodicityMusical-Texture.pdf>>.
- MUSESSCORE. *Plataforma Musescore*. Musescore BVBA, 2021. Disponível em: <<https://musescore.com/sheetmusic>>.
- NETO, C. N. d. S. *Textura Musical: Forma e Metáfora*. Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil, 2007.
- NETTO, C. X. A. SIGNO, SINAL, INFORMAÇÃO: as relações de construção e transferência de significados. *Informacao & Sociedade-estudos*, v. 12, 2002. Disponível em: <http://www.brapci.inf.br/_repositorio/2010/11/pdf_f61135c5e3_0013351.pdf>.

NOBRE, J. *Apostila de Teoria Musical*. Governo do Estado do Ceará - Secretaria da Cultura, 2008. Disponível em: <<http://www2.secult.ce.gov.br/Recursos/PublicWebBanco/Partituraacervo/Apt000002.pdf>>.

OLIVEIRA, J. A. D. B. e.; NAKANO, N.; JORENTE, M. J. V. Design Thinking para Inovação em Ambientes Informacionais. *Encontro Nacional de Pesquisa em Ciência da Informação*, n. XIX, p. 17, 2018. Disponível em: <<https://brapci.inf.br/index.php/res/download/124576>>.

OLIVEIRA, R. d. *Ensino de Música: É lei mais não "pegou"*. 2018. Disponível em: <<http://www.ubc.org.br/publicacoes/noticias/10482>>.

OLIVEIRA, R. P. D.; WILDNER, M. C. S.; PRETTO, F. Técnicas de visualização de informações como apoio a gestão estratégica. *Destaques Acadêmicos*, v. 10, n. 1, dez. 2018. ISSN 2176-3070. Disponível em: <<http://univates.br/revistas/index.php/destaques/article/view/1778>>.

OLMEDO, M. F. Aspectos estéticos da música segundo as leituras dos livros: “Estética musical” de Carl Dahlhaus, “Estética Musical” de Enrico Fubini e “Belo Musical” de Eduard Hanslick. *Anais do SEFIM - Interdisciplinar, Música e Educação*, v. 1, n. n1, p. 10, 2013. ISSN 25253778.

OROZCO, T. *A Melodia das cores: O sensível, o audível e o visível*. [S.l.]: Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Artes Visuais), Departamento de Artes, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015. 87 p.

PADOVANI, J. H.; BARBOSA, R. V. Música e visualização: abordagens interativas para análise e composição. *ENCONTRO INTERNACIONAL DE TEORIA E ANÁLISE MUSICA*, São Paulo: ECA-USP, p. 8, 2013. Disponível em: <http://www2.eca.usp.br/etam/iiiencontro/files/comm_Padovani_Barbosa_p278-285.pdf>.

PATTUELLI, M. C.; MILLER, M.; RANGE, L.; THORSEN, H. Linked Jazz 52nd Street: A LOD Crowdsourcing Tool to Reveal Connections among Jazz Artists. In: . University of Nebraska–Lincoln: Alliance of Digital Humanities Organizations, 2013. Disponível em: <<http://dh2013.unl.edu/abstracts/ab-254.html>>.

PAULA, H. D. *Matriz CSD – Certezas, Suposições e Dúvidas*. 2017. Disponível em: <<https://www.hellerdepaula.com.br/matriz-csd/>>.

QUEIROZ, L. R. S. Educação musical e cultura: singularidade e pluralidade cultural no ensino e aprendizagem da música. *Revista ABEM*, p. 9, 2004. Disponível em: <http://abemeducacaomusical.com.br/revista_abem/ed10/revista10_artigo12.pdf>.

REIS, P. L. A legitimidade da escuta num mundo ocidentalmente pré-fabricado. *Anais do 14º Colóquio de Pesquisa do PPGM/UFRJ*, Vol. 2, p. 170–175, 2016. Disponível em: <<https://ppgm.musica.ufrj.br/a-legitimidade-da-escuta-num-mundo-ocidentalmente-pre-fabricado/>>.

REIS, S. G. d. O.; VECIATO, F. L.; SANCHES, P. R.; CRUZ, D. G. d. Avaliação da Encontrabilidade da Informação do Repositório Institucional da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. *InCID: Revista de Ciência da Informação e Documentação*, v. 9, n. 2, p. 169–188, 2019. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/incid/article/view/126124>>.

ROCHA, J. M. d.; MENEZES, M. P.; SAMPAIO, M. d. S.; OURIVES, N.; CARVALHO, D. Q. d.; KROGER, P. R. Taxonomia de técnicas de visualização em música. *Congresso da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Música*, n. XXII, p. 8, 2012. Disponível em: <https://www.academia.edu/2279887/Taxonomia_de_Tecnicas_de_Visualizacao_em_Musica>.

ROCHA, V. C. d.; BOGGIO, P. S. A música por uma óptica neurocientífica. *Per musi*, n. 27, p. 132–140, jun. 2013. ISSN 1517-7599. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-75992013000100012&lng=pt&tlang=pt>.

RODRIGUES, F. *Entenda o que é o formato CSV e saiba como importar e exportar esses arquivos*. 2019. Disponível em: <<https://rockcontent.com/blog/csv/>>.

RODRIGUES, H. *Teoria Musical em foco: Música, Som e Altura*. 2014. Disponível em: <<http://teoriamusicalemfoco.com.br/wp-content/uploads/2014/03/TeoriaMusicalEmFoco-Apostila01.pdf>>.

ROLLING STONE. Revista digital, *500 Greatest Songs of All Time*. 2011. Disponível em: <<https://www.rollingstone.com/music/music-lists/500-greatest-songs-of-all-time-151127/>>.

SALES, L. *Análise da Música Brasileira*. 2017. Disponível em: <<https://leosallesblog.wordpress.com/2017/04/21/analise-da-musica-brasileira-parte-2/>>.

SALLES, P. d. T. Redes de transformação harmônica na obra de Villa-Lobos: uma abordagem derivada da teoria neo-riemanniana. p. 23, 2016.

SANDRONI, C. *Feitiço Decente: Transformações do Samba no Rio de Janeiro (1917 - 1933)*. 2ed. ed. Rio de Janeiro: ZAHAR, 2012. Disponível em: <https://issuu.com/sararibeiro3/docs/feitico_decente_-_carlos_sandroni>.

SANTAELLA, L. *A assinatura das coisas: Pierce e a Literatura*. Rio de Janeiro: Imago, 2012.

SANTAELLA, L. *O que é Semiótica*. São Paulo: Brasiliense, 2012.

SANTINI, R. M.; SOUZA, R. F. de. Recuperação da Informação de Música e Ciência da Informação. p. 14, 2016.

SCHAEFFNER, A. *Origine des instruments de musique : introduction ethnologique à l'histoire de la musique instrumentale / André Schaeffner*. 2e éd.. ed. Paris ; La Haye ; New York : Mouton, 1958. (Maison des sciences de l'homme).

SCORDATO, J. Composing with Iannix. In: *Proceedings of the Fifth Conference on Computation, Communication, Aesthetics and X*. Lisboa, Portugal: [s.n.], 2017. V, p. 389. ISBN 978-989-746-128-6. Disponível em: <<http://2017.xcoax.org/xCoAx2017.pdf>>.

SILVA, A. R.; NAKAGAWA, R. M. d. O. *Semiótica da Comunicação*. São Paulo: INTERCOM, 2013. v. 10. (Coleção GP'S: grupos de pesquisa; v. 10).

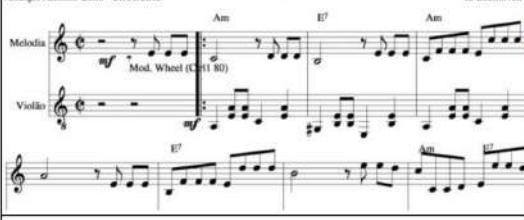
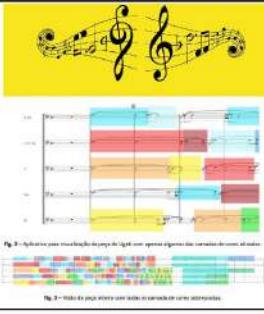
SILVA, C. G. d. *Exploração de bases de dados de ambientes de Educação a Distância por meio de ferramentas de consulta apoiadas por Visualização de Informação*. Tese (Tese de doutorado) — Instituto de Computação Universidade Estadual de Campinas, 2006.

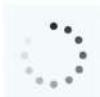
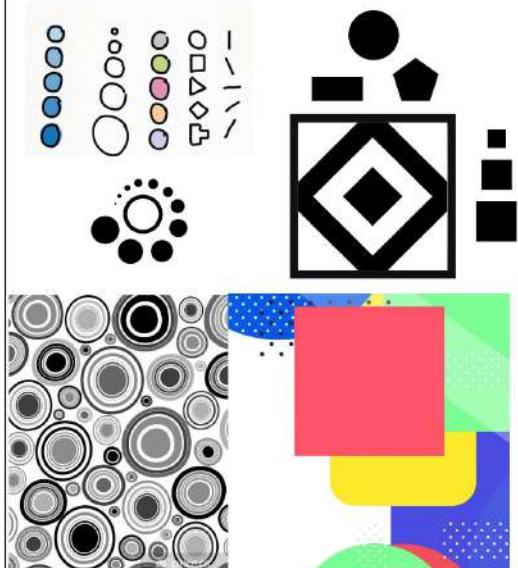
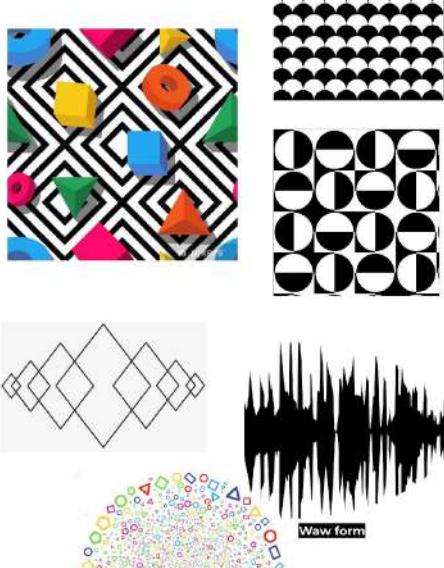
- SILVA, C. G. d.; ROCHA, H. V. d. *Grafo Polar: uma abordagem radial para visualização e exploração de grafos*. 2003. Disponível em: <<https://ic.unicamp.br/~reltech/2003/03-17.pdf>>.
- SILVA, M. B. d. *Da Capo: Uma exploração das representações da música*. 2019. Disponível em: <<http://www.life.dad.puc-rio.br/projetos/dacapo.html>>.
- SILVA, R. O. D. *A Música e o Cérebro*. Trabalho de Conclusão de Curso - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, João Pessoa, 2019. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/331824500_A_Musica_e_o_Cerebro_TCC_Tecnico_Integrado_-_Rebeca_Oliveira_da_Silva>.
- SILVEIRA, A. Educação Musical e Musicalidade, *Música e Educação: Algumas reflexões*. 2014. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/musicalidade/midiateca/educacao-musical/educacao/musica-e-educacao/view>>.
- TARASTI, E. Los signos en la historia de la música, historia de la semiótica musical. *Semiótica Musical*, p. 15–71., 2008. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/242225340_Los_signos_en_la_historia_de_la_musica_historia_de_la_semiotica_musical>.
- TOUSSAINT, G. T. *The Geometry of Musical Rhythm: What Makes a “Good” Rhythm Good?* [S.l.]: CRC Press, 2013.
- VECHIATO, F. L.; TRINDADE, A. S. C. E. d. Encontrabilidade da informação em ambientes informacionais: diálogo teórico entre os conceitos Intencionalidade e affordance. *Prisma.com*, n. 42, p. 3–20, 2020. ISSN 16463153. Disponível em: <<http://ojs.letras.up.pt/index.php/prismacom/article/view/6809/7853>>.
- VIANNA, M.; VIANNA, Y.; ADLER, I. K.; LUCENA, B.; RUSSO, B. *Design Thinking : Inovação em Negócios*. Rio de Janeiro: MJV Press, 2012. ([recurso eletrônico]). ISBN 978-85-65424-03-5.
- VIDELA, D. F. La música gráfica de León Schidlowsky: Deutschland, ein Wintermärchen (1979) como partitura multimedial. *Rev. music. chil.*, v. 66, n. 218, p. 7–37, 2012.
- WALKER, J. *MIDICSV*. 2004. Disponível em: <<https://www.fourmilab.ch/webtools/midicsv/>>.
- WEN, E. *Structurally Sound: Seven Musical Masterworks Deconstructed*. New York: Dover Publications Inc, 2017. ISBN 13: 978-0486-80677-8.
- WILSON, S. *Patterning: The iPad drum machine that wants us to think in circles*. 2015. Disponível em: <<https://www.factmag.com/2015/08/23/patterning-drum-machine-app-ipad/>>.
- WOYTUK, N. C.; ALEKSIK, S. *Musicscape paisagens baseadas nas suas últimas escutas do Spotify*. 2018. Disponível em: <<https://musicscapes.herokuapp.com/>>.
- WUNDERVALD, B. D. Engenharia de Características Baseadas em Cifras para a Classificação de Gêneros na Música Brasileira. p. 52, 2018. Disponível em: <www.leg.ufpr.br/~walmes/docs/TCC-BrunaWundevald-RogerioHultmannFilho.pdf>.

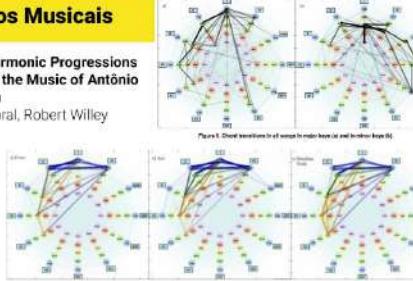
APÊNDICE A – PROTOCOLO WORKSHOP CO-CRIAÇÃO

PROTOCOLO DE DESENVOLVIMENTO DE VISUALIZAÇÃO			
Roadmap de Execução do Experimento			
Atividade	Método	Objetivo	Tempo planejado (20 a 60min)
Imersão da Temática	Apresentação e Questionamento provocativo: “Como representar uma música genial?”	Contextualização da pesquisa e troca com participante	2 a 10 minutos
Escolha de Música	1. Seleção e listagem de músicas 2. Descrição verbal de percepções musicais	Selecionar música aplicando os critérios de musicalidade	2 a 10 minutos
Storytelling	Mapa mental - elementos da musicalidade	Explicar narrando o porque considera a música genial	2 a 10 minutos
Prototipação em papel para criação de esboço	1. Desenho e representação da música 2. <i>Dificuldade em transportar informações musicais:</i> Aplica-se brainstorming de formas, texturas e modelos visuais para geração de insights	Sintetizar o conteúdo musical em uma visualização estática	10 a 20 minutos
Resultado de visualização	Análise Musical e explicação através de esboço	Estudo de complexidades e estruturas musicais	2 a 10 minutos
Aplicação de Formulário	Formulário online	Coleta de feedbacks sobre experimento e perfil do usuário	2 minutos
Materiais			
Papel, Lápis de cor, Gravador, Câmera, Post-it			

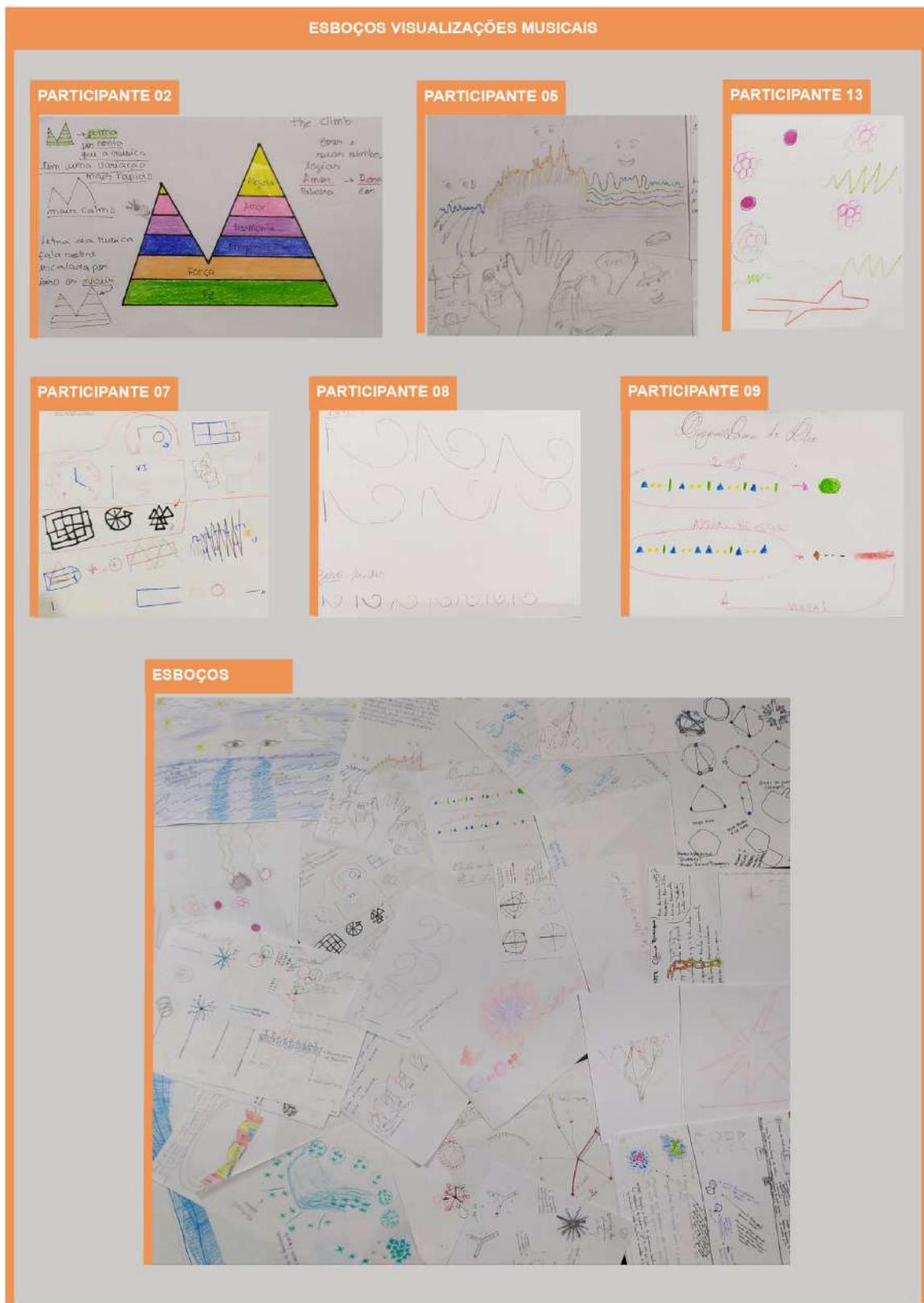
Pitch(Slides do Protocolo)
 <p>PROTOCOLO</p> <p>Rodada de Experimento e exposição de projeto; <u>Tempo:</u> entre 20 a 60 min depende do candidato a experimentar teste</p> <p><u>Público:</u> Músicos, pessoas que tocam algum instrumento ou tem interesse e conhecimento básico de música.</p> <p><u>Objetivo:</u> Gerar visualizações musicais e analisar características para automatização de informações.</p>

<p>Quantas vezes você ouviu uma música e pensou...</p> <p style="text-align: center;">Que música genial!</p>	<p>Descrever visualmente algo que não é visual.</p> <p style="text-align: right;">(Jason Forrest)</p>
<p>5 SINFONIA DE BEETHOVEN (Em ritmo de Rock)</p> <p>Arranjo: Antônio Célio - 21/01/2013 L. Beethoven</p> 	<p>Representando informações musicais</p> <p>Elementos da Musicalidade:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Harmonia - Rítmico - Melodia - Timbre <ul style="list-style-type: none"> • Reconhecimento de padrões • Notas, acordes, intervalos • Representação do tempo 
<p>Critérios</p> <ul style="list-style-type: none"> • Foco nos Elementos da musicalidade • Desenho Estático (Quadro musical) 	<p>Mind Mapping</p> 
<p>Escolha uma música</p> <p>que você acha genial, reflita sobre o porquê de tê-la escolhido e me fale um pouco sobre ela.</p> <p style="text-align: center;">...descreva suas informações musicais</p>	<p>Crie seu mapa mental para decisão de música</p> <p>Escreva características dela em sua folha: o nome, artista e gênero e elementos da musicalidade que são interessantes para você.</p>
<p>Idealize e desenhe alguma forma de representar a sua música Genial</p>	<p>Imagine que eu sou uma pessoa que não conhece essa música. E com o material dado, tente explicar com visualizações/desenhos</p> <p>O que torna essa música genial?</p>

	<p>3-5 minutos para pensar</p> 
<h3>Visualizando a música</h3>	<p>Música, é uma combinação de sons e silêncios de maneira organizada</p>
 <p>Tempo para desenhar</p>	<h3>Dificuldades em desenhar a música?</h3>
	

 <p>Sua ideia!</p>	<p>Explique o esboço que você fez para descrever o porque essa música é genial</p>
<h2>Discussão</h2>	<p>Problema de pesquisa</p> <p>Quais problemas na área de música merecem novas formas de visualizações?</p> <p>Objetivo: Visualizar e Sistematizar informações musicais, automatizando processos para gerar base de dados para computação criativa</p>
	
<p>Elementos Musicais</p> <p>Analyzing Harmonic Progressions with Harmin: the Music of Antônio Carlos Jobim Giordano Cabral, Robert Willey (2007)</p>  <p>Figure 14. Chord transition matrix for Forn. Aka Brazilian Folk names.</p>	<p>Motivação: DADOS DA MÚSICA BRASILEIRA RITMO</p>

APÊNDICE B – RESULTADOS ESBOÇOS COM GRUPO FOCAL



APÊNDICE C – EXTRAÇÃO DE INFORMAÇÕES RÍTMICAS DO MIDI

Listing C.1 – Código em linguagem de programação Python do DDE2

```

1 //API MANDRIT(v.01) - Extrator de Dados Musicais do Ritmo de arquivos MIDI e
2   conversor em CSV
3 //Biblioteca de conversao: Py_midicsv - Linguagem Python
4 //AUTORA: RUTE MAXSUELLY. COLABORADORES: DELANDO JUNIOR E GIORDANO CABRAL
5
6 import py_midicsv
7
8 //Carrega o arquivo MIDI e transforma em CSV
9 folder = "C:\\\\Users\\\\rutem\\\\Documents\\\\GitHub\\\\Music_Visual\\\\MandRit\\\\midicsv\\\\"
10 filename = "midi_file\\\\Base_MandRit\\\\Plotar_Midis\\\\bateri.mid"
11 csv_string = py_midicsv.midi_to_csv(folder + filename)
12 nome_do_csv = folder + "csv\\\\File_tracksname\\\\bateriTEMPO_Granularidade64.csv"
13
14 //Funcao que pega informacoes do cabecalho do MIDI
15 def get_compasso(csv_string):
16     for line in csv_string:
17         col = line.split(",")
18         event = col[2]
19         if(event == " Header"):
20             compasso = col[-1]
21             compasso.replace("\n", "")
22             return int(compasso)
23
24 //Funcao extrai o metaevento da formula do compasso(ex: 4/4...)
25 def get_time_signature(csv_string):
26     for line in csv_string:
27         col = line.split(",")
28         event = col[2]
29         if(event == " Time_signature"):
30             numerador = col[3]
31             denominador = col[4]
32             numerador.replace("\n", "")
33             denominador.replace("\n", "")
34             return int(numerador), int(denominador)
35
36 //Funcao que transforma o output para o CSV a partir das infos do arquivo MIDI
37 def csv_formater(line, ticksPerBeat, numerador, denominador):
38     //tempo;note;velocity;channel;compasso
39     col = line.split(",")
40     event = col[2]
41     if(event == " Note_on_c"):
42         track = int(col[0])
43         nota = col[-2]
44
45     //Calculo que determina as batidas por compasso e aplica a logica da formula
46     //do compasso (4/4, 2/4...)
47     beatsPorCompasso = 4*numerador/2**denominador

```

```

47     //TicksPerBeat e a unidade de tempo no MIDI, entao o Clocks realiza o
        calculo a cada ticksPerBeat pelo de seu compasso (beatsPorCompasso);
        clocks_por_compasso = ticksPerBeat* beatsPorCompasso
49     //Parametro para o usuario verificar a regularidade da musica pela Janela de
        analise determinando seus valores em (4,6,5,0.5)

51     tamanhoAnalise = 4
52     janelaAnalise = tamanhoAnalise*clocks_por_compasso
53     //tempo = deltatime(em tiqes na sequencia MIDI);
54     tempo = int(col[1].replace(" ", " "))
55     //Faz o modulo das divisoes do compasso (garante que o resto da divisao -
        sub_divisao_compasso / janelaAnalise- sera sempre entre 0 e 1);
        sub_divisao_compasso= tempo%janelaAnalise
56     print("subdivisao compasso", sub_divisao_compasso)

57     //Parametro para verificar a regularidade e dividir o compasso em (64, 32,
        8);
58     granularidade = 64
59
60     //O metodo "Round" realiza arredondamento dos valores(em tiqes) da
        subdivisao do compasso para aglutinar valores proximos.
61
62     return track, int(round(sub_divisao_compasso / janelaAnalise*granularidade))%
        granularidade, nota
63
64     else:
65         return None, None, None

66 //Funcao que condiciona a relacao correspondente da quantidade de notas em funcao do
       tempo e das tracks.
67 def separate_note_por_compasso(csv_string):
68     ticksPerBeat = get_compasso(csv_string)
69     numerador, denominador = get_time_signature(csv_string)
70     dic_matrix = {}
71     for line in csv_string:
72         print(line)
73         track, sub_divisao_compasso, nota = csv_formater(line, ticksPerBeat,
74                 numerador, denominador)
75         print("Subdivisao pos conversao", sub_divisao_compasso)
76         if(track == None):
77             continue
78         if ((track, sub_divisao_compasso) in dic_matrix.keys()):
79             // O metodo "append" realiza a contagem dos eventos e adiciona a uma
                lista seus valores guardando-os em um dionario.
80             dic_matrix[(track, sub_divisao_compasso)].append(nota)
81         else:
82             dic_matrix[(track, sub_divisao_compasso)] = [nota]
83
84     return dic_matrix
85
86 //Funcao que organiza dados em formato de Matriz e gera o CSV
87 dic_matrix = separate_note_por_compasso(csv_string)
88 with open(nome_do_csv, "w") as output_file:
89     output_file.write("X,Y,Total_de_notas\n")
90     for x in dic_matrix:
91         //O metodo "len" so extrai o dic_Matrix e ignora as informacoes de
            velocidade, duracao e qual tipo da nota.
92         to_write = f"{x[0]},{x[1]},{len(dic_matrix[x])}\n"
93         output_file.write(to_write)

```

APÊNDICE D – CÓDIGO PROCESSING: GERAÇÃO DE VISUALIZAÇÃO

Listing D.1 – Código em linguagem de programação JavaScript do DDE2

```

2 // SISTEMA MANDRIT - Gerador de visualizacoes e assinaturas ritmicas para analise
   Musical.
//CODIGO PROCESSING - Linguagem P5_JS
4 //AUTORA: RUTE MAXSUELLY
//COLABORADORES: JADER ABREU E FELIPE CALEGARIO
6
//BUBBLE CHART - Quantidade de notas em funcao do tempo ciclico// COMPASSO 4/4
8
let airData;
10 let raioFundo = 380;
let raioFundoComposto = 380; //Para musicas 5/4
12 let tempo;
let comprimentoCirculo = 64;
14 let raioMenor = 100;
let raioMaior = 300;
16 let tamanhoMenor = 1;//1//1//0.5//0.1
let tamanhoMaior = 3;//3//5
18 let cores = [];
let faixas = [];
20 let tempomin;
let tempomax;
22 let faixamin;
let faixamax;
24 let tamanho;
let tamanhomin;
26 let tamanhomax;
let indiceCor = 0;
28
let button;
30 var ellipseWidth = 10;
let time = 0
32
function preload(){
34     airData = loadTable("csv_musics/Plotar_Musicas_Bubble/bateria04.csv",
      "csv",
36     "header");
      sound = loadSound('ArquivoMusicas/bateria04.mp3');
38     font = loadFont('assets/CaviarDreams.ttf');
}
40
function setup() {
42     createCanvas(1780, 840);
center = createVector(width/2, height/2);
44     maxRadius = min(center.x, center.y) * 0.9;
noStroke();
46     background(255);
ellipseMode(CENTER);
48     textAlign(CENTER);

```

```

        strokeWeight(1);
50      stroke(0);
      textSize(50);
52      text('M A N D R I T', 1200, 800, width);
//Legenda Track//
54      stroke(0);
      rect(10, 375, 420, 100);
56      rect(1350, 50, 500, 630);
      rect(1350, 620, 500, 60);
58      line(1350, 450, 1770, 450);
//horizontais//
60      line(1435, 520, 1465, 520);
      line(1490, 520, 1530, 520);
62      line(1555, 520, 1625, 520);
      line(1645, 520, 1740, 520);
64
//Linhas verticais//
66      line(1740, 500, 1740, 540);
      line(1645, 500, 1645, 540);
68      line(1625, 500, 1625, 540);
      line(1555, 500, 1555, 540);
70      line(1530, 500, 1530, 540);
      line(1490, 500, 1490, 540);
72      line(1465, 500, 1465, 540);
      line(1435, 500, 1435, 540);
74      textSize(20);
      text('Quantidade de notas', 1450, 480, width);
76 //alterada de acordo com a musica plotada
      text('Formula do Compasso: 4/4', 1430, 660, width);
78      textSize(30);
      text('-', 1400, 580, width);
      text('+', 1750, 580, width);

82      translate(width / 2, height / 2);
      textos();
84      drawCirclefundo();
      rotate(PI/-2);
86
//Funcao SaveAnalise - inclui botao de play em musica para facilitar analise e
//download da visualizacao.
88      SaveAnalise();
      tocarMusica();

90
//RANGE DE CORES///
92 //Faixa 1//Conducao
      amarelo = color(254, 250, 104);
94      cores.push(amarelo);
      amarelo.setAlpha(128 + 128 * sin(millis() / 5000));
96 //Faixa 2//conducao
      vermelho = color(140, 23, 23);
98      cores.push(vermelho);
      vermelho.setAlpha(128 + 128 * sin(millis() / 5000));
100 //Faixa 3//Graves
      azul = color(0, 0, 255);
102      cores.push(azul);
      azul.setAlpha(128 + 128 * sin(millis() / 5000));
104 //Faixa 4//agudos

```

```
verde = color(0, 255, 90);
106 cores.push(verde);
verde.setAlpha(128 + 128 * sin(millis() / 5000));
108 //Faixa 5//floreios
laranja = color(255,133,0,100);
110 cores.push(laranja);
laranja.setAlpha(128 + 128 * sin(millis() / 5000));
112 //Faixa 6//
marron = color(184,115,51);
114 cores.push(marron);
marron.setAlpha(128 + 128 * sin(millis() / 5000));
116 //Faixa 7//
magenta = color(239,98,166);
118 cores.push(magenta);
magenta.setAlpha(128 + 128 * sin(millis() / 5000));
120 //Faixa 8//
roxo = color(117,92,160);
122 cores.push(roxo);
roxo.setAlpha(128 + 128 * sin(millis() / 5000));
124 //Faixa 9//
rosa = color(255,192,203);
126 cores.push(rosa);
rosa.setAlpha(128 + 128 * sin(millis() / 5000));
128 //Faixa 10//
violetaPastel = color(221,170,255);
130 cores.push(violetaPastel);
violetaPastel.setAlpha(128 + 128 * sin(millis() / 5000));
132 //Faixa 11//
azulClaro = color(50,173,240);
134 cores.push(azulClaro);
azulClaro.setAlpha(128 + 128 * sin(millis() / 5000));
136 //Faixa 12//
pastelAlaranjado= color(233,108,102);
138 cores.push(pastelAlaranjado);
pastelAlaranjado.setAlpha(128 + 128 * sin(millis() / 5000));
140 //Faixa 13//
cinza= color(199, 200, 203);
142 cores.push(cinza);
cinza.setAlpha(128 + 128 * sin(millis() / 5000));
144 //Faixa 14//
verdeEscuro= color(51, 163, 105);
146 cores.push(verdeEscuro);
verdeEscuro.setAlpha(128 + 128 * sin(millis() / 5000));
148 //Faixa 15//
laranjaPastel= color(246, 185, 78);
150 cores.push(laranjaPastel);
laranjaPastel.setAlpha(128 + 128 * sin(millis() / 5000));
152 //Faixa 16//
verdeClaro= color(200, 221, 90);
154 cores.push(verdeClaro);
verdeClaro.setAlpha(128 + 128 * sin(millis() / 5000));
156 tempo = airData.getColumn("Y");
158 tempomin = min(tempo);
tempomax = max(tempo);
160 faixa = airData.getColumn("X");
faixamin = min(faixa);
```

```

162     faixamax = max(faixa);
163     tamanho = airData.getColumn("Total_de_notas");
164     tamanhomin = min(tamanho);
165     tamanhomax = max(tamanho);
166   }
167   function draw() {
168     translate(width / 2, height / 2);
169     rotate(PI/-2);
170     noStroke();
171     drawDados();
172   }
173
174   //Dados musicais extraidos do MIDI associados a representacao//
175   function drawDados(){
176     noLoop();
177     indiceCor = 0;
178
179     for(let i = 0; i< airData.getRowCount(); i++){
180       let tempoAtual = airData.getNum(i, "Y");
181       let posicao = map(tempoAtual, tempomin, tempomax, 0, comprimentoCirculo-1);
182       let faixaAtual = airData.getNum(i, "X");
183       let faixaAtualLegenda = airData.getNum(i, "X");
184       let indice = criarOuAtualizarFaixa(faixaAtual);
185       let faixa = faixas[indice];
186       let raio = map(faixaAtual, faixamin, faixamax, raioMaior, raioMenor);
187       let tamanhoAtual = airData.getNum(i, "Total_de_notas");
188       let tamanho = map(tamanhoAtual, tamanhomax, tamanhomin, tamanhoMaior,
189                         tamanhoMenor);
190       fill(faixa.cor);
191       //Funcoes que trazem as propriedades das formas geometricas
192       drawCircles(comprimentoCirculo,raio, posicao, tamanho);
193       drawRectLegenda(faixa);
194     }
195   }
196   //Indica a quantidade de Faixas no csv para realizar a projecao de acordo com suas
197   cores
198   function criarOuAtualizarFaixa(faixaAtual){
199     for(i = 0; i< faixas.length;i++){
200       if(faixas[i] && faixas[i].numero == faixaAtual){
201         faixas[i].quantidade++;
202         console.log(faixas[i]);
203         console.log(i);
204         return i;
205       }
206     }
207     indiceCor++;
208     if(indiceCor >= cores.length){
209       indiceCor = 0;
210     }
211     faixas.push(new Faixa(faixaAtual, cores[indiceCor]));
212     return faixas.length-1;
213   }
214   //INCLUI CIRCULOS NA SEQUENCIA ANGULAR (EM FUNCAO DO CICLO TEMPORAL POLAR)
215   function drawCircle(angle, i, radius,circleRadius){
216     xCircle = cos(angle*i) * radius;
217     yCircle = sin(angle*i) * radius;

```

```

    ellipse(xCircle, yCircle, circleRadius*2, circleRadius*2);
218 }

220 //ASSOCIA CIRCULOS EM FUNCAO DA QUANTIDADE
221 function drawCircles(circles, radius, i, tamanho){
222     angle = Math.PI*2 / circles;
223     circleRadius = sin(angle/2) * radius *tamanho;
224     ellipseMode(CENTER);
225     //Reitera o draw tambem em funcao do tempo//
226     drawCircle(angle, i, radius,circleRadius);
227 }
228

//Referencia do compasso ao fundo de acordo com a formula do compasso
229 function drawCirclefundo(){
230     ellipseMode(CENTER);
231     stroke(146);
232     noFill();
233     circles = 4; //2 para musicas 2/4; 3 para 3/4; 4 para 4/4; 5 para 5/4;
234     angleFundo = Math.PI*2 / circles;
235     circleRaiofundo = sin(angleFundo/16);

236     for(var i = 0; i < circles; i++){
237         xCircle = -sin(angleFundo*i) * raioFundo;
238         yCircle = -cos(angleFundo*i) * raioFundo;
239         ellipseMode(CENTER);
240         strokeWeight(10);
241         point(xCircle, yCircle, circleRaiofundo, circleRaiofundo); //+5, +10
242         strokeWeight(0.5);
243         circle(0,0, 380);
244         //circle(xCircle,yCircle , 380);
245         strokeWeight(1);
246         line(xCircle,yCircle , circleRaiofundo, circleRaiofundo)+10;
247     }
248 }

249 }

250 }

251 //Maracacao fixa ao fundo para compassos compostos Ex: 12/8 9/8
252 function drawCirclefundoComposto(){
253

254     ellipseMode(CENTER);
255     stroke(146);
256     noFill();
257     circles = 20; //20 para 5/4
258     angleFundo = Math.PI*2 / circles;
259     circleRaiofundo = sin(angleFundo/96) * raioFundoComposto;
260     for(var i = 0; i < circles; i++){
261         xCircle = cos(angleFundo*i) * raioFundoComposto;
262         yCircle = sin(angleFundo*i) * raioFundoComposto;
263         ellipseMode(CENTER);
264         //stroke(0);
265         strokeWeight(5);
266         point(xCircle, yCircle, circleRaiofundo, circleRaiofundo); //+5, +10
267         strokeWeight(2);
268         ellipse(xCircle, yCircle, circleRaiofundo+10, circleRaiofundo+10); //+5,
269         +10
270     }
271 }

272

```

```
function drawRectLegenda(faixaLegenda){  
274    //circle(300, 560, 20, 60);  
275    //rect(300, 560, 20, 60);  
276    fill(vermelho);  
277    circle(280, 560, 20, 60);  
278    rect(280, 560, 20, 60);  
279    fill(azul);  
280    circle(260, 560, 20, 60);  
281    rect(260, 560, 20, 60);  
282    fill(verde);  
283    circle(240, 560, 20, 60);  
284    rect(240, 560, 20, 60);  
285    fill(laranja);  
286    circle(220, 560, 20, 60);  
287    rect(220, 560, 20, 60); /*  
288    fill(marron);  
289    circle(200, 560, 20, 60);  
290    rect(200, 560, 20, 60);  
291    fill(magenta);  
292    circle(180, 560, 20, 60);  
293    rect(180, 560, 20, 60);  
294    fill(roxo);  
295    circle(160, 560, 20, 60);  
296    rect(160, 560, 20, 60);  
297    fill(rosa);  
298    circle(140, 560, 20, 60);  
299    rect(140, 560, 20, 60);  
300    fill(violetaPastel);  
301    circle(120, 560, 20, 60);  
302    rect(120, 560, 20, 60);  
303    fill(azulClaro);  
304    circle(100, 560, 20, 60);  
305    rect(100, 560, 20, 60);  
306    fill(pastelAlaranjado);  
307    circle(80, 560, 20, 60);  
308    rect(80, 560, 20, 60);  
309    fill(cinza);  
310    circle(60, 560, 20, 60);  
311    rect(60, 560, 20, 60);  
312    fill(verdeEscuro);  
313    circle(40, 560, 20, 60);  
314    rect(40, 560, 20, 60);  
315    fill(laranjaPastel);  
316    circle(20, 560, 20, 60);  
317    rect(20, 560, 20, 60);  
318    fill(verdeClaro);  
319    circle(0, 560, 20, 60);  
320    rect(-20, 560, 40, 60); /*  
//Circles Legenda//  
321    fill(azul);  
322    circle(-150, 560, 15, 60);  
323    circle(-150, 620, 20, 70);  
324    circle(-150, 700, 30, 90);  
325    circle(-150, 800, 40, 100);  
326    }  
327  
328 function textos(){
```

```

330     strokeWeight(1);
331     textSize(20);
332         stroke(0);
333         //OPCAO DE MARCACAO DE REFERENCIA DE SUBDIVISOES DO COMPASSO 4/4
334         text('1',-10, -350, width);
335         text('2',350, 5, width);
336         text('3',-10, 365, width);
337         text('4',-370, 0, width);
338
339         //OPCAO DE MARCACAO DE REFERENCIA DE SUBDIVISOES DO COMPASSO 5/4
340         /*text('1',-10, -350, width);
341         text('2',340, -110, width);
342         text('3',220, 300, width);
343         text('4',-240, 300, width);
344         text('5',-360, -110, width); */
345
346         //OPCAO DE MARCACAO DE REFERENCIA DE SUBDIVISOES DO COMPASSO 2/4
347         /*text('1',-10, -350, width);
348         text('2',-10, 365, width);*/
349
350         //OPCAO DE MARCACAO DE REFERENCIA DE SUBDIVISOES DO COMPASSO 3/4
351         /*text('1',-10, -350, width);
352         text('2',320, 190, width);
353         text('3',-340, 190, width);*/
354
355         //DEPENDENDO DA MUSICA QUE FOR PLOTAR COMENTAR TRACKS ESTAO NA LEGENDA
356         strokeWeight(1);
357         stroke(0);
358         textSize(15); //18
359         //text(' Track 1 =', 620, -300, width);
360         text(' Track 2 = Bateria(conducao)', 620, -280, width);
361         text(' Track 3 = Bateria(Assinatura - Grave)', 620,-260 , width);
362         text(' Track 4 = Bateria(Assinatura - Agudo)', 620, -240, width);
363         text(' Track 5 = Bateria (Floreio)', 620, -220, width);
364         //text(' Track 6 = Piano', 620, -200, width);
365         /*text(' Track 7 = Bateria', 620, -180, width);
366         text(' Track 8 = Percussao', 620,-160 , width);
367         text(' Track 9 = Violino I', 620, -140, width);
368         text(' Track 10 = Violino II ', 620, -120, width);
369         text(' Track 11 = Viola I', 620,-100 , width);
370         text(' Track 12 = Violoncelo', 620, -80, width);
371         text(' Track 13 = Contrabaixo', 620, -60, width);
372         //text(' Track 14 = ', 620, -40, width);
373         //text(' Track 15 = ', 620, -20, width);
374         //text(' Track 16 ', 620, 0, width); */
375     }
376
377     //Botao PLAY musica//
378     function tocarMusica(){
379         createP(' ');
380         button=createButton("PLAY");
381         button.size(180,50);
382         button.position(20, 400);
383         button.style("font-family","CaviarDreams");
384         button.style("background-color","#E3E3E3");
385         button.style("font-size", "16px");
386     }

```

```

//Interacao mouse clique//
388 function mouseClicked() {
    if (mouseX > 0 && mouseX < width && mouseY > 0 && mouseY < height) {
390     if(sound.isPlaying()){
        sound.stop();
392     sound.setVolume(0.3);
        button.html("STOP");
394 }else {
        sound.play();
396     button.html("PLAY");
    }
398     button.style("font-family","CaviarDreams");
        button.style("background-color","#E3E3E3");
400     button.style("font-size", "16px");
    }
402 }

404 function menu(){
    redraw();
406 }

408 function mouseClickedMenu(){
    createP(' ');
410     button = createButton('SAVE VISUAL MUSIC');
        button.size(400, 50);
412     button.position(230, 400);
        button.mousePressed(menu);
414     button.style("font-family","CaviarDreams");
        button.style("background-color","#E3E3E3");
416     button.style("font-size", "16px");
    }
418

420     function mouseClickedSave(){
420         save('analisemusical.jpg');
    }
422

424     function SaveAnalise (){
424         createP(' ');
425         button = createButton('SAVE VISUAL MUSIC');
426         button.size(180, 50);
427         button.position(230, 400);
428         button.mousePressed(mouseClickedSave);
        button.style("font-family","CaviarDreams");
430         button.style("background-color","#E3E3E3");
        button.style("font-size", "16px");
    }
432 }

434 class Faixa{
    constructor(numero, cor){
436        this.numero = numero;
        this.cor = cor;
438        this.quantidade = 0;
    }
440 }
//FIM

```